

2020 年度

早稲田大学大学院基幹理工学研究科情報理工・情報通信専攻 修士論文

生体情報を用いた個々の映像視聴者及び
複数映像視聴者間における
感情分類及び推定に関する研究

持倉 有紀
(5119F094-7)

提出日：2021.1.25

指導教員：亀山渉教授

研究指導名：マルチメディア情報流通システム研究

目次

第 1 章	序論	4
1.1	研究背景.....	4
1.2	研究目的.....	4
1.3	本論文の構成.....	4
第 2 章	関連研究	6
2.1	瞳孔径	6
2.2	基礎律動.....	6
2.3	RRI 変化率.....	7
2.4	顔特徴点.....	7
2.5	対光反射補正.....	7
第 3 章	実験	8
3.1	実験内容.....	8
3.2	実験装置.....	8
3.3	実験手順.....	8
3.4	被験者	8
3.5	使用した映像.....	9
3.6	アンケート	9
第 4 章	解析	10
4.1	解析手法.....	10
4.1.1	LSTM Autoencoder (LSTM AE) による個々の映像視聴者の解析.....	10
4.1.2	Convolutional Autoencoder (CAE) による個々の映像視聴者の解析...	10
4.1.3	アンケート回答との対応	10
4.1.4	Variational Autoencoder (VAE) による個々の映像視聴者の解析.....	11
4.1.5	LSTM Variational Autoencoder (LSTM VAE) による個々の映像視聴者の解析	11

4.1.6	LSTM AE・CAE・LSTM VAE による複数映像視聴者間の解析	12
4.1.7	Sparse Representation-based Classification (SRC) による解析	13
4.2	解析データ	13
4.2.1	個々の映像視聴者の解析の場合	13
4.2.1.1	瞳孔径	13
4.2.1.2	基礎律動	13
4.2.1.3	RRI	14
4.2.1.4	顔特徴点	14
4.2.1.5	データセット	15
4.2.2	複数映像視聴者間における解析の場合	15
4.2.2.1	瞳孔径	15
4.2.2.2	基礎律動	16
4.2.2.3	RRI	20
4.2.2.4	顔特徴点	21
4.2.2.5	データセット	23
第5章	結果と考察	24
5.1	LSTM AE と CAE による個々の映像視聴者の解析	24
5.1.1	結果	24
5.1.2	考察	26
5.2	VAE と LSTM VAE による個々の映像視聴者の解析	27
5.2.1	結果	27
5.2.2	考察	29
5.3	LSTM AE・CAE・LSTM VAE による複数映像視聴者間の解析	30
5.3.1	結果	30
5.3.2	考察	35
5.4	SRC による複数映像視聴者間の解析	35

5.4.1	結果	35
5.4.2	考察	37
第 6 章	結論	38
6.1	まとめ	38
6.2	今後の課題	38
図一覧	.....	39
表一覧	.....	39
付録	.....	41
謝辞	.....	70
参考文献	.....	71
研究業績	.....	74

第1章 序論

1.1 研究背景

近年、動画配信サービスの普及により、動画コンテンツの数が急増している。その結果、視聴者が視聴したい動画を探すことが難しくなっている。その解決策として、コンテンツ推薦システムの利用が挙げられるが、現在のコンテンツ推薦システムでは主に似た閲覧履歴をもつ視聴者の履歴から動画を推薦する協調フィルタリングを利用しているが、これには視聴者の感情が反映されておらず、必ずしも視聴者の嗜好に合った動画を推薦できるとは限らない。そこで、映像視聴時の生体情報を用いたコンテンツ推薦システムが検討されている。生体情報から推定される視聴者の感情を映像のメタデータとして付与することで、視聴者に合ったコンテンツ推薦が可能になると考えられる。

1.2 研究目的

先行研究では、映像視聴時の視聴者の生体情報を主成分分析及び k-NN (k-Nearest Neighbor) を用いた解析[1, 2]、並びに、スパースコーディング及び SRC (Sparse Representation-based Classification) を用いた解析[3, 4]により、生体情報から視聴者の感情を分類するための手法が検討されてきた。また、筆者らの研究として、LSTM Autoencoder を用いて、時系列を考慮した映像視聴者の生体情報による感情分類と推定を検討したものがある[5]。但し、時系列を考慮する手法は様々あり、文献[5]ではその中の代表的な 1 つを試しただけである。さらに、分類におけるクラス数等が実験者の主観で設定されて結果が評価されているため、実験者が設定する値によらない客観的な分類を行うことが課題となっていた。また、個々の被験者における解析にとどまり、複数被験者間での解析が行われていない。そこで本稿では、生体情報を用いて、時系列を考慮する複数の手法の比較と、より客観的な感情分類を目指した個々の映像視聴者の感情分類及び複数の映像視聴者間における感情推定を行ったので、その結果を報告する。

1.3 本論文の構成

本論文は以下のように構成されている。

第 1 章では、本研究の背景および目的について述べている。

第 2 章では、瞳孔径、基礎律動、RRI、顔特徴点、対光反射補正に関する研究について述べている。

第 3 章では、本研究において行った実験の内容、使用した装置、手順、被験者、使用した映像及びアンケートについて述べている。

第 4 章では、解析手法及び解析に用いたデータについて述べている。

第 5 章では、個々の映像視聴者における解析及び複数映像視聴者間の解析の結果と考察について述べている。

第 6 章では，本研究のまとめと今後の課題について述べている．

2.3 RRI 変化率

RRI (R-R Interval) とは, 心電図において R 波が出現する間隔を測定したものである. 以下の式 (1) で表される RRI 変化率はストレス指標として有効であることが分かっている [11].

$$\text{RRI 変化率} = \frac{\text{実測 RRI}}{\text{安静時推定 RRI}} \times 100 \quad (1)$$

2.4 顔特徴点

文献[12]によると, 映像視聴者の顔特徴点データから映像コンテンツへの関心度を推定したところ, 高い精度が得られた. このことから, 顔特徴点は感情分類, 感情推定における指標として有効であると考えられる.

2.5 対光反射補正

興味度の指標として瞳孔径を使用するために, 明るさによる変化を補正する対光反射補正を行う必要がある. 文献[13]によると, 周期的に輝度が切り替わる映像視聴時の瞳孔径データを計測し, ニューラルネットワークで学習させることで輝度のみによる瞳孔径変動を予測することができる. 本稿では, 映像視聴時の瞳孔径計測データからこれらの予測値を引いた値を興味度によって生じた瞳孔径変動データとして用いた.

第3章 実験

3.1 実験内容

被験者に約 3 分の映像を計 10 本視聴してもらい、その間の瞳孔径、基礎律動、RRI、顔特徴点を計測した。映像視聴後は、時系列に対応して生起したと感じる情動を問うアンケートに回答してもらった。

3.2 実験装置

実験に使用した装置を表 3.2.1 に示す。

表 3.2.1 実験に使用した装置（自著文献[14] 表 1 より引用）

生体指標	実験装置
瞳孔径	Tobii Technology 社製アイトラッカ Tobii X60 (60[Hz]計測)
基礎律動	Interaxon 社製簡易脳波計 Muse (AF7、AF8、TP9、TP10 の 4 チャンネル、256[Hz]計測)
RRI	Polar 社製心拍センサ H7 及び同社製スポーツウォッチ V800
顔画像	SANWA SUPPLY 社製ウェブカメラ, 15[fps], 1920×1080

3.3 実験手順

実験は以下の手順で行った。

1. 脳波計と心拍センサを被験者に装着してもらう。
2. アイトラッカ調整のために、キャリブレーションを行う。
3. 対光反射補正情報取得のため、被験者に文献[13]にある矩形波の学習輝度パターンで周期的に輝度が切り替わる映像を視聴してもらう。
4. 被験者に映像を視聴してもらう。
5. アンケートに回答してもらう。
6. 全ての映像について 4 から 5 を繰り返す。但し、5 本目の映像のアンケート回答後に 5 分の休憩を挟み、休憩終了後は 2 の操作をもう一度行う。

3.4 被験者

実験は 57 名（男性 33 名、女性 24 名、平均年齢 21.2 歳、標準偏差 1.14）に対して行った。そのうち、5 名（男性 3 名、女性 2 名、平均年齢 21 歳、標準偏差 0.89）について 5.1 節の解析を、27 名（男性 20 名、女性 7 名、平均年齢 21.1 歳、標準偏差 0.98）に対して 5.2 節以降の解析を行った。

3.5 使用した映像

実験に使用した映像には、1:愉快、2:怖い、3:安らぐ、4:すごい・興奮、5:悲しい、6:感動する、7:イライラする、8:退屈、9:怖い、10:愉快の感情を生起させると考えられる 10 種類の映像を用意した。実験では 1 から 10 の順番で再生した。また、イライラする映像は個人で撮影したものを使用し、愉快的映像 2 種類[15][16]、怖い映像 2 種類[17][18]、安らぐ映像[19][20]、すごい・興奮する映像[21][22][23]、悲しい映像[24]、感動する映像[25]、退屈な映像[26]は動画共有サイトから選択し、動画の長さが 3 分程度になるように調整した。

3.6 アンケート

アンケートでは、映像の 15 秒ごとのキャプチャを用意し、その 15 秒の間に生じた感情に当てはまる項目があれば回答してもらった。アンケート項目を表 3.6.1 に示す。回答は無回答および 2 つまでの複数回答としたが、本研究では無回答および 1 つまでの回答を解析に使用した。

表 3.6.1 実験に使用したアンケート項目（自著文献[14] 表 2 より引用）

(1)	怖い	(5)	安らぐ
(2)	イライラする	(6)	愉快
(3)	悲しい	(7)	すごい・興奮
(4)	退屈	(8)	感動する

第4章 解析

4.1 解析手法

4.1.1 LSTM Autoencoder (LSTM AE) による個々の映像視聴者の解析

LSTM AE とは, LSTM (Long short-term memory) と呼ばれる長期の時系列データを学習することができる RNN (Recurrent Neural Network) の一種と, Autoencoder を組み合わせた学習手法であり, 時系列データの特徴表現の抽出が可能である. データセットを窓幅 32, スライド幅 1 でスライドして整形し, 各被験者の映像 1 から映像 8 の各映像の前半 20% をテストデータ, 後半 80% を学習データとして学習を行った. 学習後は中間表現を抽出して k-means 法によるクラスタリングを行い, アンケート回答との対応を行った. アンケート回答は, 各窓の最頻値を該当時間の回答とした. また, 映像 9 及び映像 10 は学習には使用せず, 感情分類時にのみ使用した.

4.1.2 Convolutional Autoencoder (CAE) による個々の映像視聴者の解析

CAE とは, Encoder, Decoder 部分に畳み込み層を使った Autoencoder であり, LSTM AE と同様に時系列を考慮した学習ができる. LSTM AE と同じ手順で解析を行い, 結果を比較した.

4.1.3 アンケート回答との対応

クラスタリング結果とアンケート回答の対応付けのために, 各クラスタにアンケートの全項目と無回答を合わせた 9 項目に対応した線を順に引き, 各データが判定されたクラスタ内において, 対応するアンケート回答に該当する線上に結果をプロットした. クラスタ内の 9 本のアンケート回答に該当する線とその番号の対応を図 4.1.3.1 に示す. クラスタリング結果をアンケート回答に対応させた例を図 4.1.3.2 に示す. この場合, クラスタ 1 に分類されたデータ取得時の被験者の感情は「怖い」, クラスタ N に分類されたデータ取得時の被験者の感情は「愉快」と「安らぐ」とであると判定する.

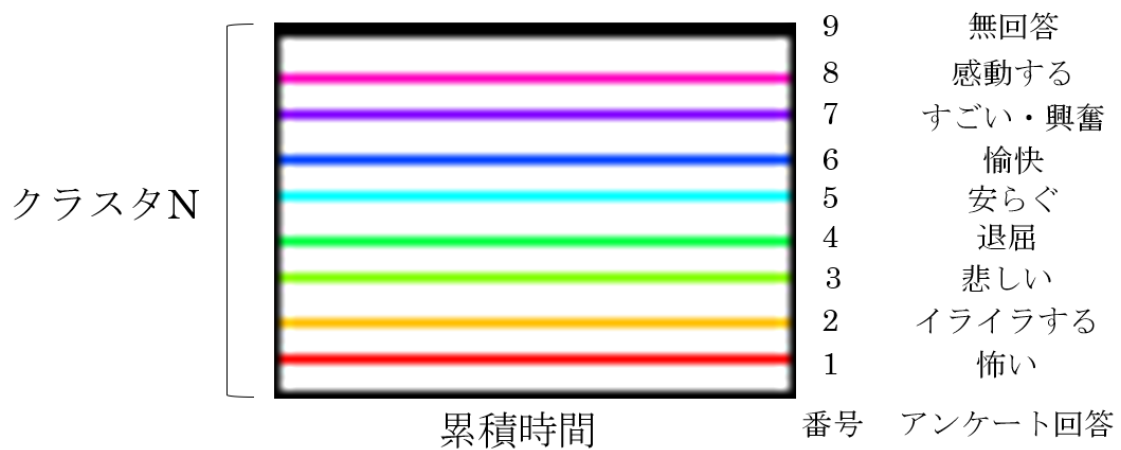


図 4.1.3.1 クラスタ内の線とアンケート番号の対応

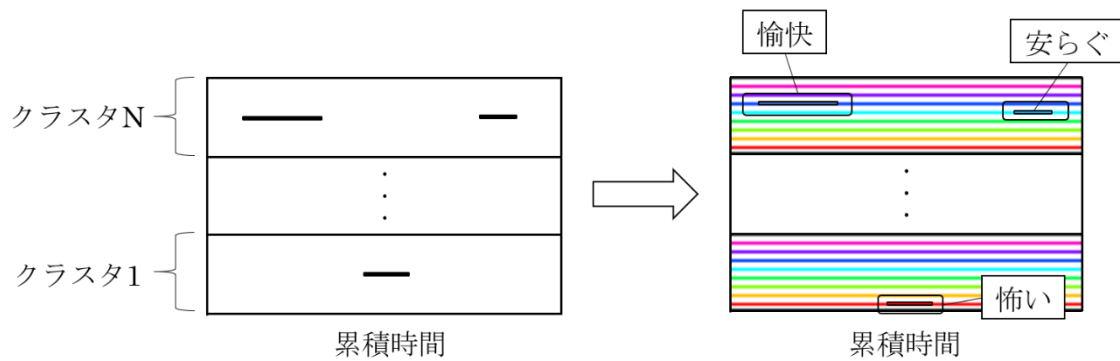


図 4.1.3.2 クラスタリング結果の例

4.1.4 Variational Autoencoder (VAE) による個々の映像視聴者の解析

VAE とは、Encoder の出力が正規分布の平均と共分散行列となり、特徴表現がその正規分布からサンプリングされる Autoencoder である。各被験者の映像 1 から映像 8 の各映像の前半 20% をテストデータ、後半 80% を学習データとして学習を行った。学習後に潜在変数を t-SNE を用いて 2 次元に圧縮し、潜在空間を可視化して感情の分布を確認し、分類結果を比較した。このとき、アンケート回答は単一回答のみを使用した。また、映像 9 及び映像 10 は学習には使用せず、未知のデータとして感情分類時にのみ使用した。以後、これを「未学習データ」と呼ぶ。

4.1.5 LSTM Variational Autoencoder (LSTM VAE) による個々の映像視聴者の解析

LSTM VAE とは、VAE の Encoder, Decoder 部分に LSTM を使ったものである。データセットを窓幅 32, スライド幅 1 でスライドして整形し、VAE と同様の手順で解析を行い、結果を比較した。アンケート回答は、各窓の最頻値を該当時間の回答とした。このときの各手法の学習条件を表 4.1.5.1 に示す。

表 4.1.5.1 CAE, VAE, LSTM VAE の学習条件

	LSTM AE	CAE	VAE	LSTM VAE
活性化関数	Tanh	relu		tanh
最適化アルゴリズム	RMSprop	Adam		RMSprop
損失関数	MSE		KL divergence	
正規化		L2 正規化		
エポック数		100		
バッチサイズ		32		
テストデータ		映像 1 から 8 の各映像の前半 20%		
学習データ		映像 1 から 8 の各映像の後半 80%		
層構造	73,256,128,64,32,16,8,16, 32,64,128,256,73		73,512,256,128,64,32,64,128 ,256,512,73	
使用ライブラリ		Keras		

4.1.6 LSTM AE ・ CAE ・ LSTM VAE による複数映像視聴者間の解析

複数映像視聴者間の解析では、被験者 27 名の映像 1 から 10 の各映像の前半 20% をテストデータ、後半 80% を学習データとして、LSTM AE 及び CAE は 4.1.1 節、LSTM VAE は 4.1.4 節と同様の手順で感情分類を行った。その後、LSTM AE は DBSCAN によるクラスタリングを行い、各感情の分布を可視化した。このときの各手法の学習条件を表 4.1.6.1 に示す。

表 4.1.6.1 LSTM AE, CAE, LSTM VAE の学習条件

	LSTM AE	CAE	LSTM VAE
活性化関数	Tanh	relu	tanh
最適化アルゴリズム	RMSprop	Adam	RMSprop
損失関数	MSE		KL divergence
正規化		L2 正規化	
エポック数		100	
バッチサイズ		32	
テストデータ		映像 1 から 10 の各映像の前半 20%	
学習データ		映像 1 から 10 の各映像の後半 80%	
層構造	72,512,256,128,64,32,64,128,256,512,72		
使用ライブラリ		Keras	

4.1.7 Sparse Representation-based Classification (SRC) による解析

SRC とは, スパースコーディングの応用で, スパースな表現に基づく分類である[27][28]. SRC では判別対象となるクラスに対応するデータを結合したものを辞書として用いる. 判定方法を以下に示す.

k 個のクラスからなる辞書 A を以下のように設定する.

$$A = [A_1, A_2, \dots, A_k] \in \mathbb{R}^m \times n \quad (2)$$

この時, クラス i に属する n_i 個の辞書 A_i を以下のように表す.

$$A_i = [v_{i,1}, v_{i,2}, \dots, v_{i,n_i}] \in \mathbb{R}^m \times n_i \quad (3)$$

また, テストデータを $y \in \mathbb{R}^m$ とし, A_i による y の線形表現を以下のように表す.

$$y = \alpha_{i,1} v_{i,1} + \alpha_{i,2} v_{i,2} + \dots + \alpha_{i,n_i} v_{i,n_i} \quad (4)$$

次に, A を L2 正規化し, L1 ノルム最小化問題を解くことでスパース係数 \hat{x} を求める.

$$\hat{x} = \operatorname{argmin}_x \|x\|_1, Ax = y \quad (5)$$

ここで, 以下のような δ_i を設定する.

$$\delta_i(\hat{x}) = [0, \dots, 0, \alpha_{i,1}, \alpha_{i,2}, \dots, \alpha_{i,n_i}, 0, \dots, 0] \quad (6)$$

A_i と δ_i による線形表現と y の残差 $ri(y)$ を求め, $ri(y)$ が最小となるクラス i を求める.

$$\operatorname{argmin}_i ri(y) = \|y - A_i \delta_i(\hat{x})\|_2 \quad (7)$$

本研究では, 被験者の各アンケート項目が選択された時刻の全データを使用した. その中から辞書とテストデータを抽出し, それぞれ L2 正規化を行い, SRC を用いて感情推定を行った.

4.2 解析データ

4.2.1 個々の映像視聴者の解析の場合

4.2.1.1 瞳孔径

瞳孔径は, 欠損を線形補間した後に対光反射補正を施し, 1 秒毎の左右の値の平均値を算出した. 欠損が 5 秒以内の被験者が 15 名, 5 秒以上 10 秒以内の被験者が 11 名, 10 秒以上 15 秒以内の被験者が 1 名であった. 瞳孔の大きさは刺激を受けてから影響を受けるまでに遅延がある[29]ため, 基礎律動と同時刻, 1 秒後, 2 秒後の瞳孔径を当該時刻の解析データとした.

4.2.1.2 基礎律動

基礎律動は, 脳波計のチャンネル毎に高速フーリエ変換 (FFT) を施した後, α 波 (8-12[Hz]), β 波 (13-30[Hz]), γ 波 (31-45[Hz]) の各帯域の周波数成分の全体に対する

割合を 1 秒毎に算出し、4 チャンネルの「(β 波の割合) / (α 波の割合)」および「(γ 波の割合) / (α 波の割合)」を求めた。FFT は 1 秒窓で 1 秒ずつスライドさせた。

4.2.1.3 RRI

RRI は、1 秒毎のデータになるように 5 秒以内の欠損を線形補間した後に、式 (1) の「実測 RRI」を「毎秒の計測 RRI」, 「安静時推定 RRI」を「全計測 RRI の平均値」として RRI 変化率を算出した。これを当該時刻の RRI 変化率とした。

4.2.1.4 顔特徴点

ウェブカメラで顔画像を取得し、dlib[30]により顔特徴点を取得した。取得した顔特徴点を図 4.2.1.1 に示す。取得した顔特徴点に対して頭部の動きを除去するために、全フレームにおいて以下の処理を行った。

1. 鼻頭 (P30) の座標が一定となるように平行移動する。
2. 鼻頭 (P30) を中心として左右の目尻 (P37 及び P46) の y 座標が一致するように回転移動する。
3. 鼻頭 (P30) と左右の目尻 (P37 及び P46) から成る三角形の面積が大きいフレームから順に確認し、正面を向いていると思われるフレームを標準フレームとして選出する。
4. P28 の x 座標と、左右の目頭 (P40 及び P43) の y 座標が一定となるように平行移動する。この x 座標と y 座標による点を点 A と呼ぶ。
5. 標準フレームと各フレームの点 A と口下 (P58) の y 座標間の距離が一定となるように拡大・縮小する (Pitch の補正)。
6. 標準フレームと各フレームの点 A と左目尻 (P37) 及び点 A と右目尻 (P46) について、x 座標間の距離が一定となるように拡大・縮小する (Yaw の補正)。

解析には目・口の特徴点 (P37~P68) を使用した。そのうち、P37 の x 座標、P46 の x 座標、P58 の y 座標は手順 5 と手順 6 において座標変換に使用したため除いた。

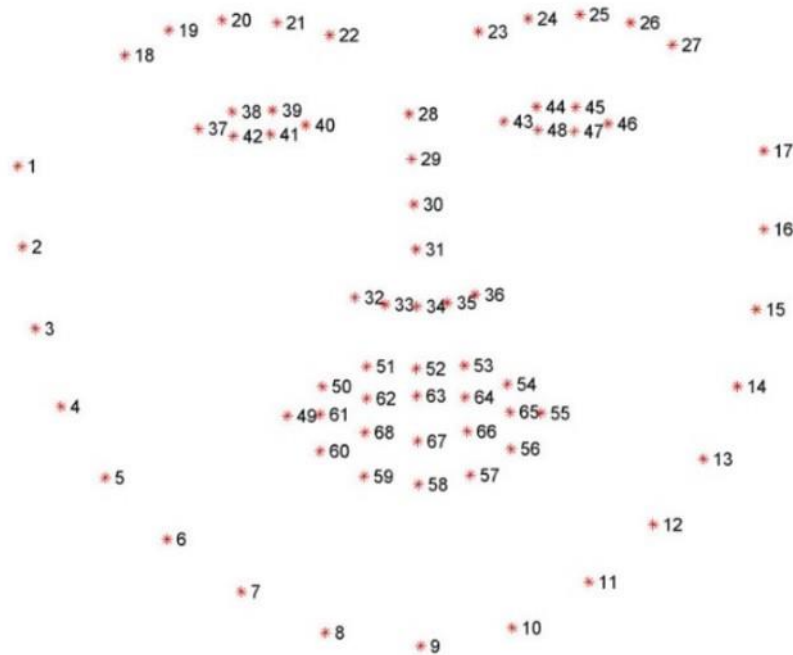


図 4.2.1.1 取得した顔特徴点（文献[31] Figure 2 より引用）

4.2.1.5 データセット

以上の瞳孔径 3 データ，基礎律動 8 データ，RRI 変化率 1 データ，顔特徴点 61 データを結合した計 73 データをデータセットとして解析に使用した．また，各指標において **z-score** による正規化を行った．

4.2.2 複数映像視聴者間における解析の場合

4.2.2.1 瞳孔径

瞳孔径は 4.2.1.1 節と同様の手法で整形した後，全計測瞳孔径の平均値からの相対瞳孔径を算出し，増減の比率を使用した．複数被験者間の解析にあたって，データが妥当であるか確認するために，4.2.1.1 節の個々の映像視聴者の解析における瞳孔径のヒストグラムを図 4.2.2.1，複数被験者間の解析における瞳孔径のヒストグラムを図 4.2.2.2 に示す．図 4.2.2.1 と図 4.2.2.2 より，ヒストグラムのばらつきが抑えられ，複数被験者間の解析に使用できると考えられる．

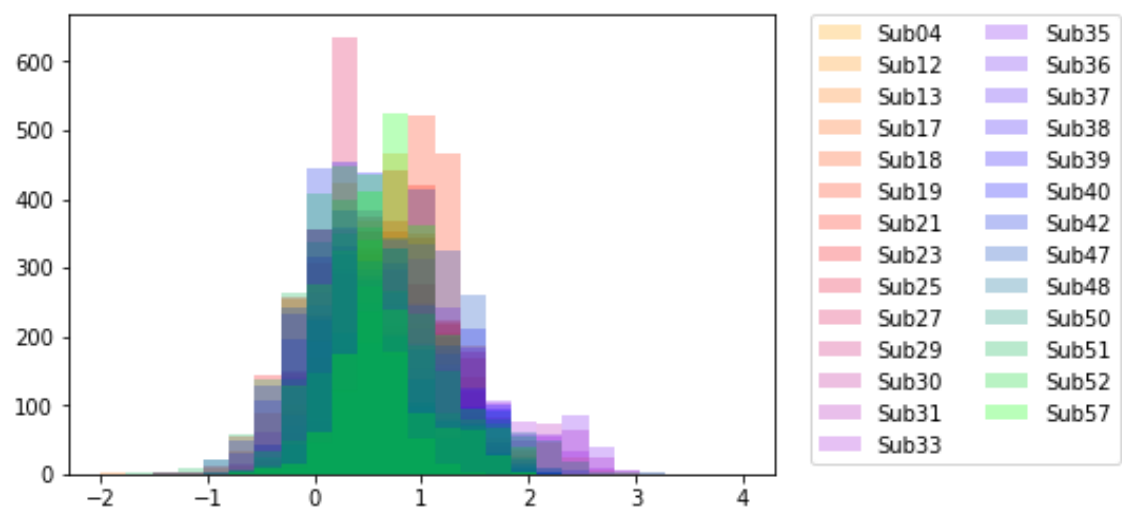


図 4.2.2.1 個々の映像視聴者の解析における瞳孔径のヒストグラム

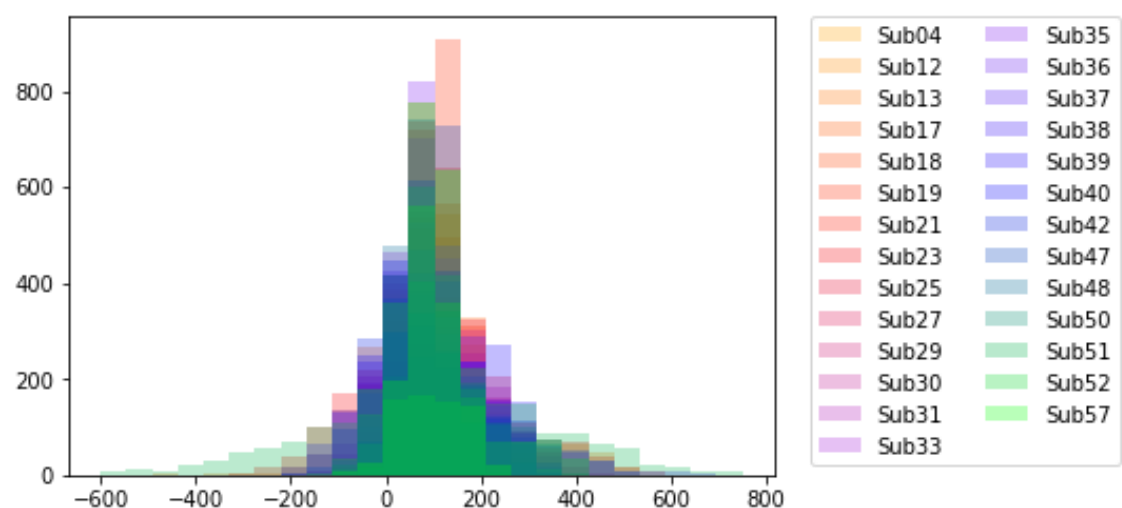


図 4.2.2.2 複数被験者間の解析における瞳孔径のヒストグラム

4.2.2.2 基礎律動

基礎律動は 4.2.1.2 節と同様の手法で整形した。複数被験者間の解析にあたって、データが妥当であるか確認するために、基礎律動の 4 チャンネルの β/α 及び γ/α のヒストグラムを図 4.2.2.3 から図 4.2.2.10 に示す。図 4.2.2.3 から図 4.2.2.1 より、ヒストグラムのばらつきはなく、複数被験者間の解析に使用できると考えられる。

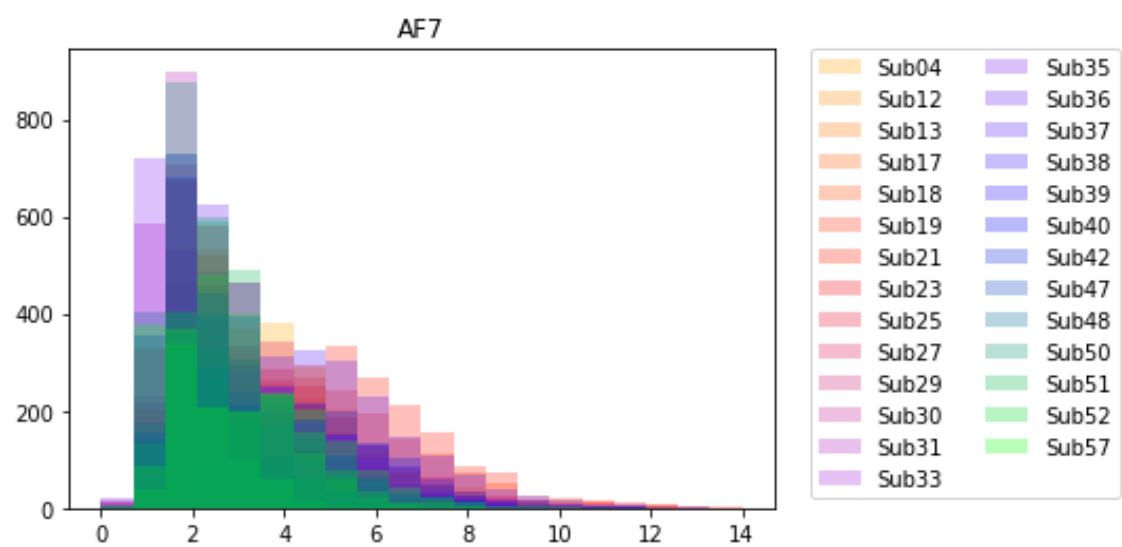


図 4.2.2.3 β/α のヒストグラム (AF7)

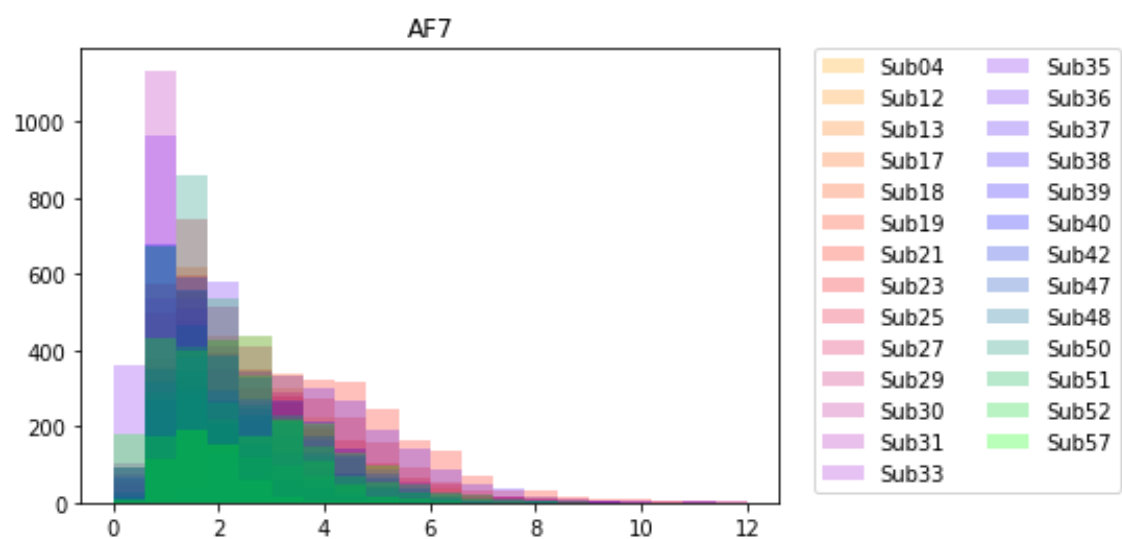


図 4.2.2.4 γ/α のヒストグラム (AF7)

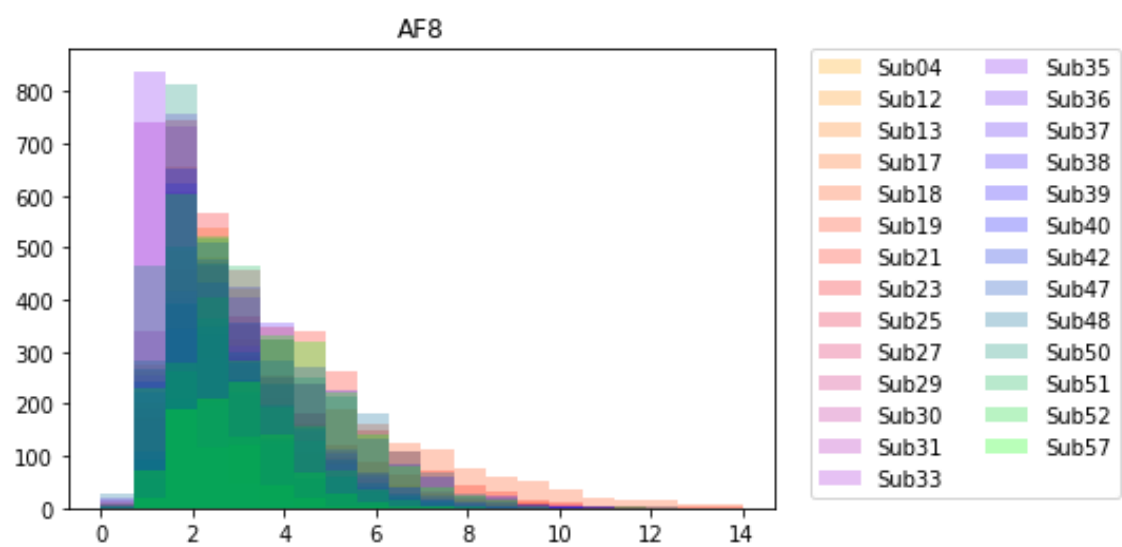


図 4.2.2.5 β/α のヒストグラム (AF8)

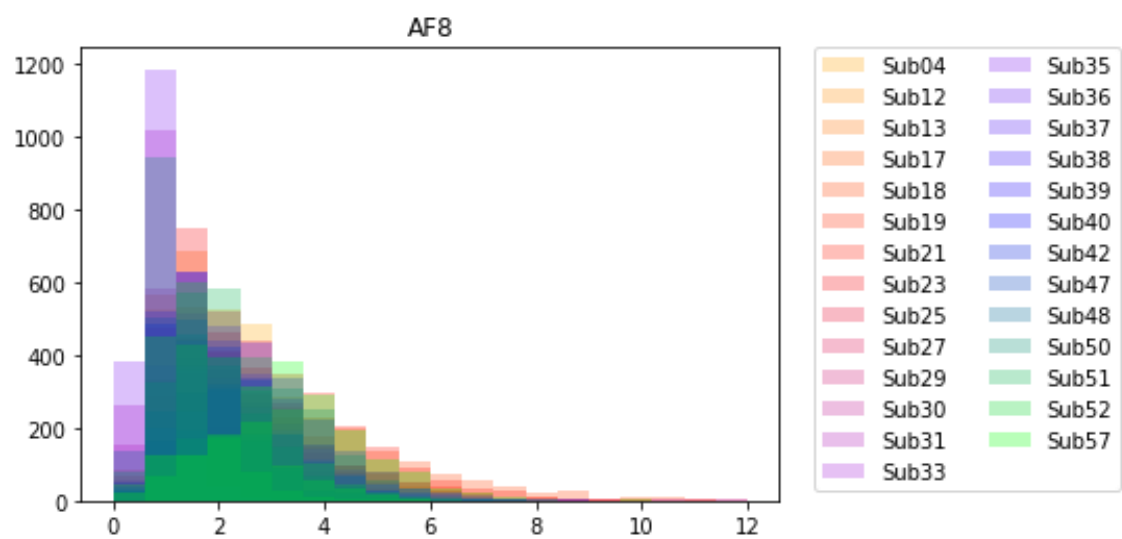


図 4.2.2.6 γ/α のヒストグラム (AF8)

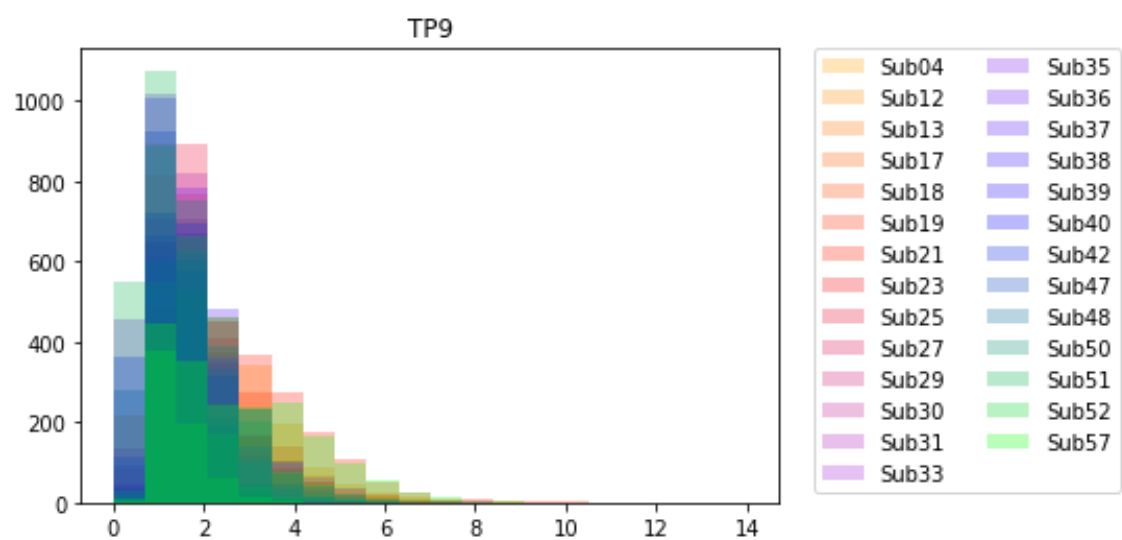


図 4.2.2.7 β/α のヒストグラム (TP9)

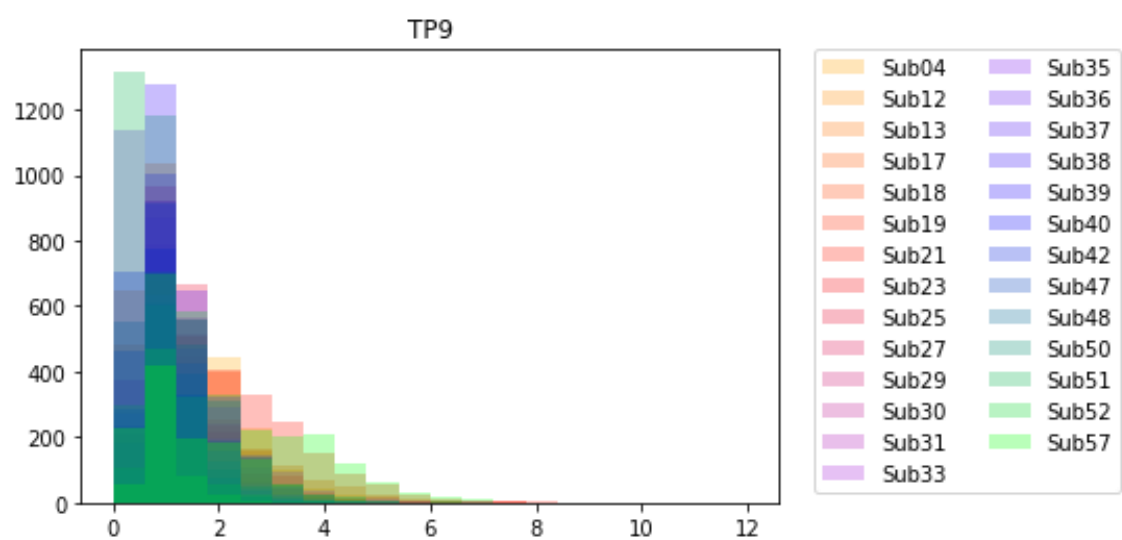


図 4.2.2.8 γ/α のヒストグラム (TP9)

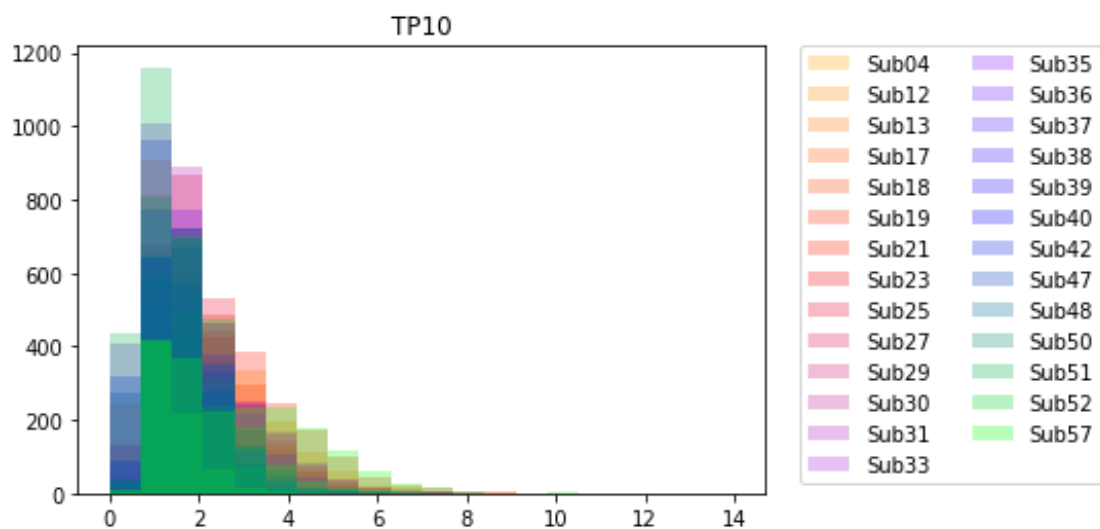


図 4.2.2.9 β/α のヒストグラム (TP10)

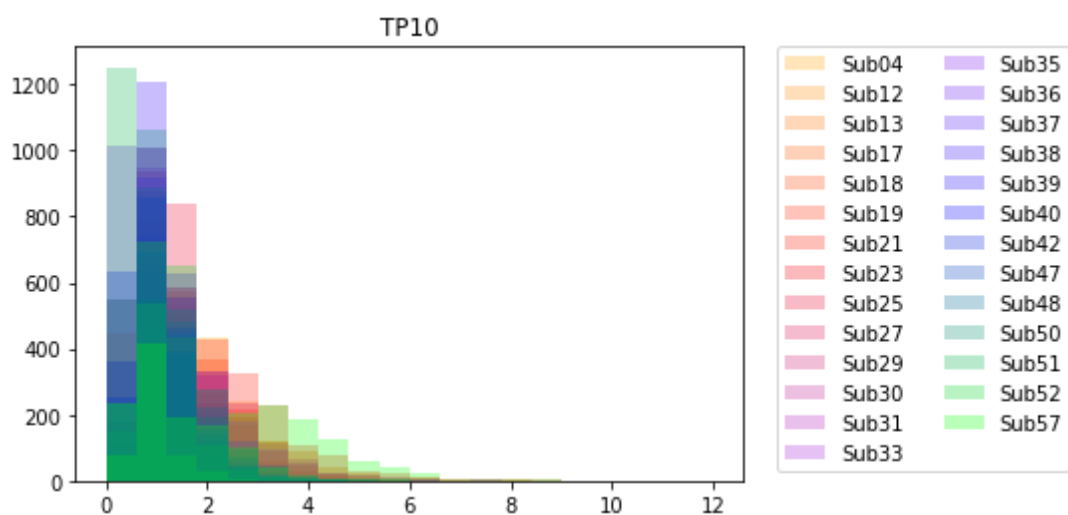


図 4.2.2.10 γ/α のヒストグラム (TP10)

4.2.2.3 RRI

RRI は 4.2.1.3 節と同様の手法で整形した. RRI 変化率のヒストグラムを図 4.2.2.11 に示す. 図 4.2.2.11 より, ヒストグラムのばらつきはなく, 複数被験者間の解析に使用できると考えられる.

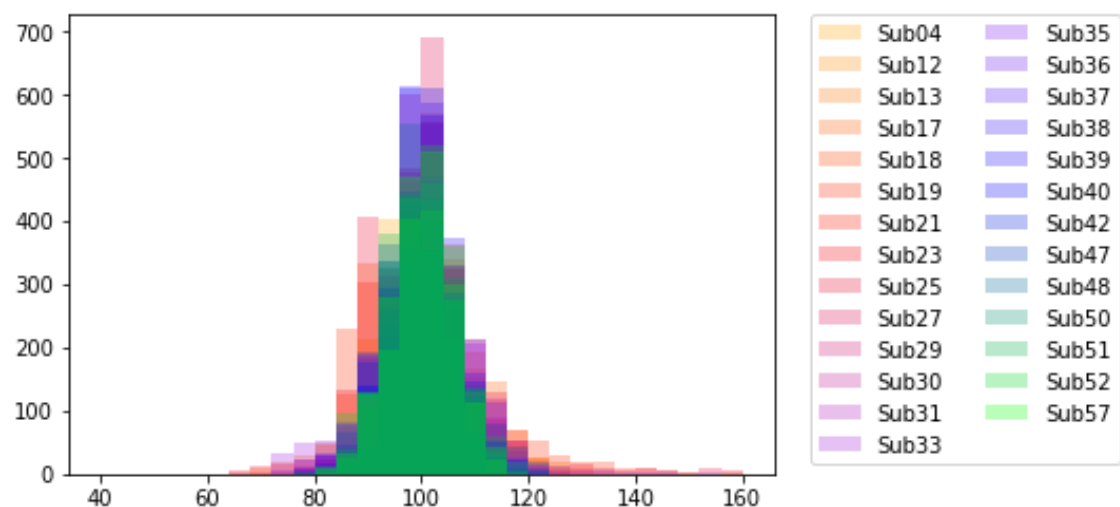


図 4.2.2.11 RRI 変化率のヒストグラム

4.2.2.4 顔特徴点

顔特徴点は 4.2.1.4 節と同様にして取得した顔特徴点に対して、被験者間の個人差を除去するために文献[32]を参考に以下の処理を行った。

1. 鼻頭（P30）の座標が一定となるように平行移動する。
2. 鼻頭（P30）を中心として左右の目尻（P37, P46）の y 座標が一致するように回転移動する。
3. 鼻頭（P30）と左右の目尻（P37, P46）から成る三角形の面積が大きいフレームから順に確認し、正面を向いていると思われるフレームを標準フレームとして選出する
4. 被験者 27 名の標準フレームの平均を算出する。これを平均顔とし、標準フレーム以外のフレームを表情顔と呼ぶ。
5. 各被験者において、平均顔と標準フレーム及び平均顔と表情顔の目尻（P37, P48）・鼻頭（P30）・口両端（P49, P55）の座標が揃うように座標変換する。
6. 標準フレームと表情顔の差分を算出する。

解析には目・口の特徴点（P37～P68）を使用した。そのうち、目尻（P37, P48）と口両端（P49, P55）の座標は手順 5 において座標変換に使用したため除いた。4.2.1.4 節の個々の映像視聴者の解析における目頭（P40, P43）の顔特徴点のヒストグラムを図 4.2.2.12 と図 4.2.2.14, 複数被験者間の解析における目頭の顔特徴点のヒストグラムを図 4.2.2.13 と図 4.2.2.15 に示す。図 4.2.2.12 から図 4.2.2.15 より、ヒストグラムのばらつきが抑えられ、複数被験者間の解析に使用できると考えられる。

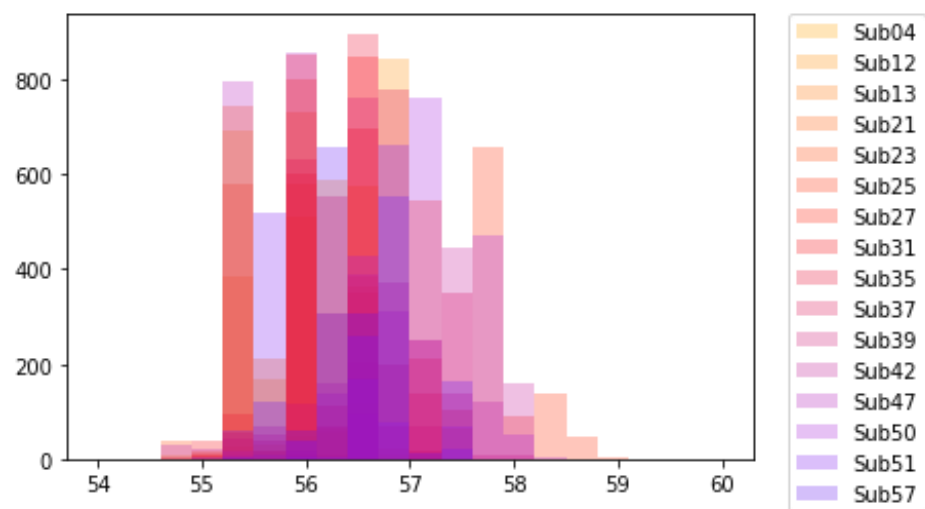


図 4.2.2.12 個々の映像視聴者の解析における右目頭のヒストグラム

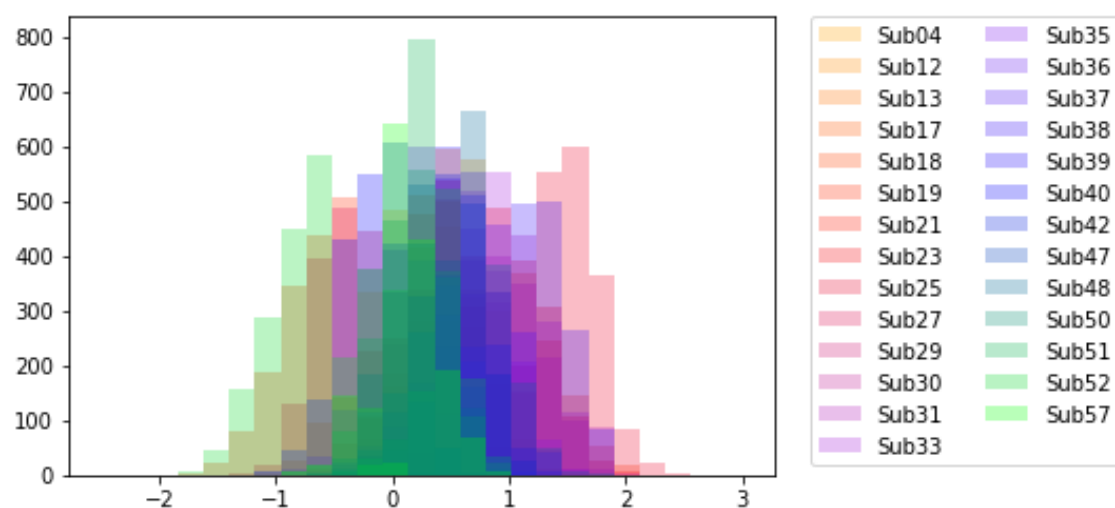


図 4.2.2.13 複数被験者間の解析における右目頭のヒストグラム

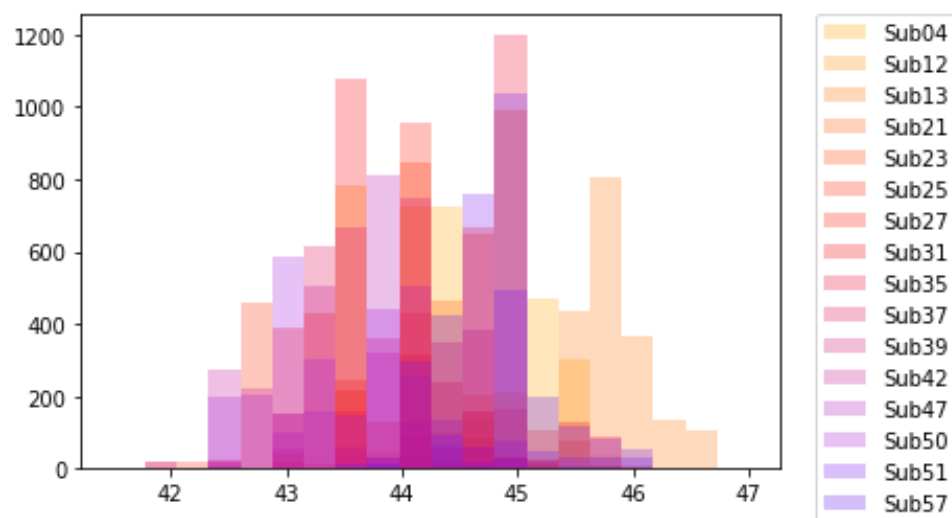


図 4.2.2.14 個々の映像視聴者の解析における左目頭のヒストグラム

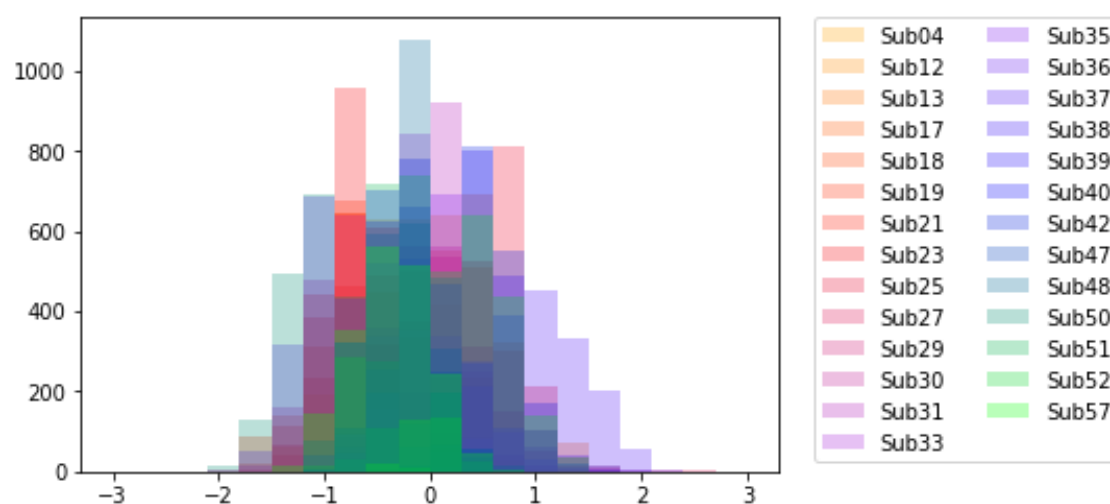


図 4.2.2.15 複数被験者間の解析における左目頭のヒストグラム

4.2.2.5 データセット

以上の瞳孔径 3 データ, 基礎律動 8 データ, RRI 変化率 1 データ, 顔特徴点 60 データを結合した計 72 データをデータセットとして解析に使用した. また, 各指標において z-score による正規化を行った.

第5章 結果と考察

5.1 LSTM AE と CAE による個々の映像視聴者の解析

5.1.1 結果

被験者 23 と被験者 50 の結果を例に取り上げる. 被験者 23 の LSTM AE による感情分類結果を図 5.1.1.1, CAE による感情分類結果を図 5.1.1.2 に示す. また, 被験者 50 の LSTM AE による解析結果を図 5.1.1.3, CAE による解析結果を図 5.1.1.4 に示す. クラスタリング結果の縦軸はクラス番号, 横軸は累積時間を表している. また, クラスタ数は Gap 統計量を参考に 8 に統一した. なお, 被験者 23 及び被験者 50 はどちらも瞳孔径の欠損は 5 秒以内であった.

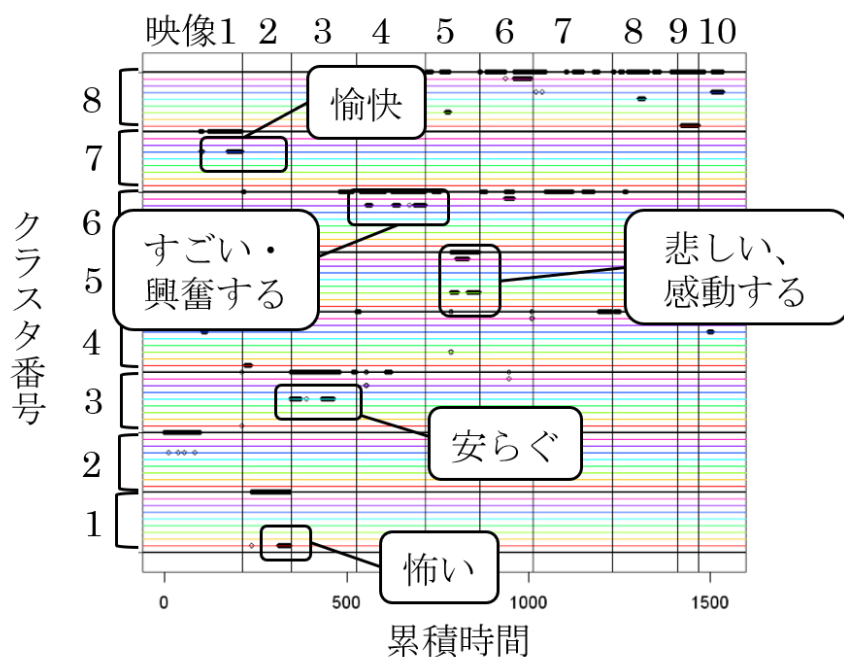


図 5.1.1.1 LSTM AE による解析結果 (被験者 23)

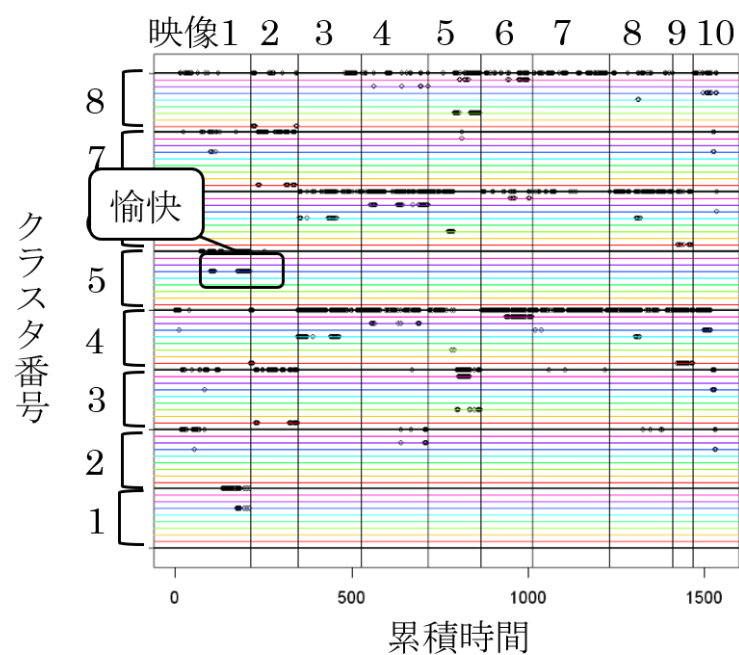


図 5.1.1.2 CAE による解析結果（被験者 23）

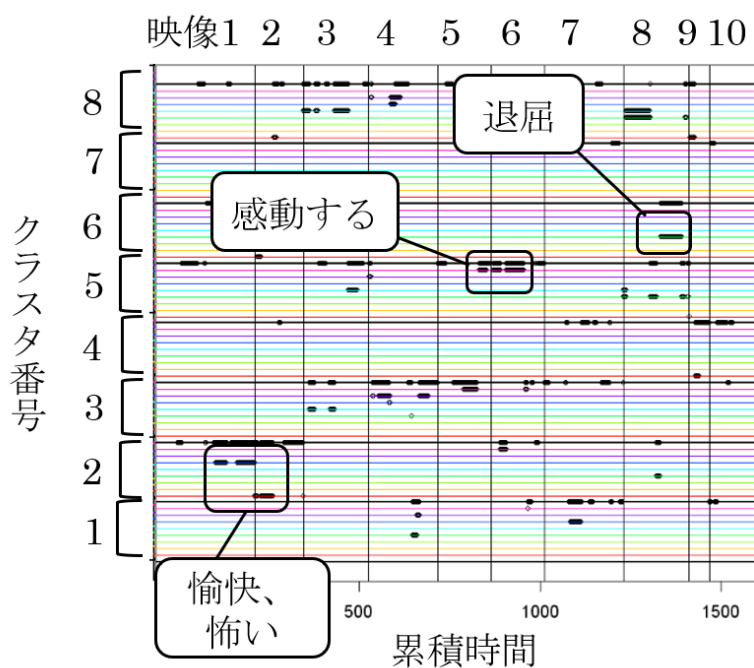


図 5.1.1.3 LSTM AE による感情分類結果（被験者 50）

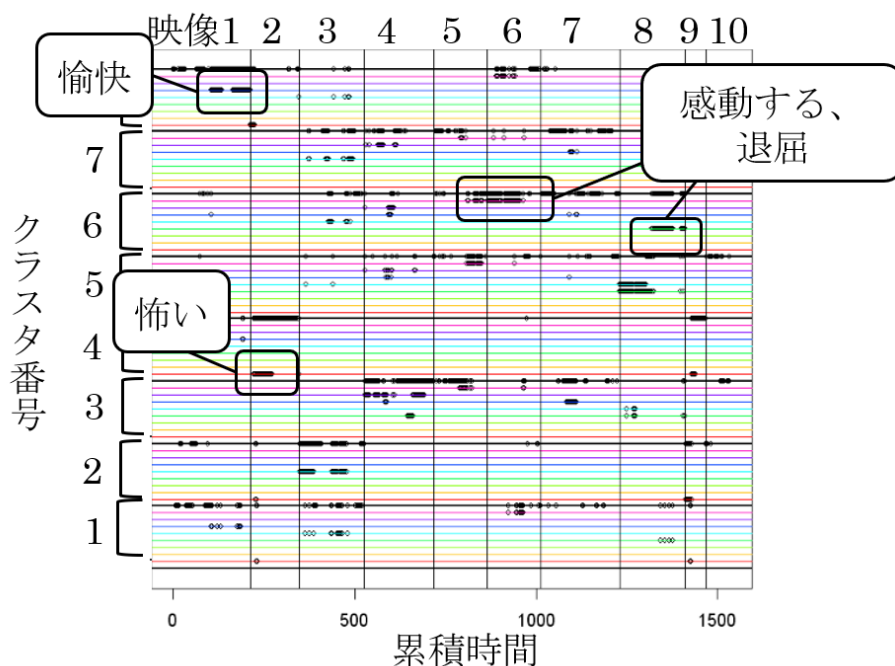


図 5.1.1.4 CAE による感情分類結果（被験者 50）

5.1.2 考察

被験者 23 について、図 5.1.1.1 より、LSTM AE による学習では複数のクラスターで、一つのクラスターに一、もしくは二つの感情が分類されている。一方、図 5.1.1.2 より、CAE による学習ではクラスター 5 で「愉快」に対応するデータが分類されているのみで、他クラスターでは異なる感情に対応するデータが同一クラスターに分類されてしまっている。このことより、被験者 23 については LSTM AE を用いることでよりアンケート回答に即した感情分類ができることが分かる。次に、被験者 50 について、図 5.1.1.3 より、LSTM AE による学習ではクラスター 5 で「感動する」、クラスター 6 で「退屈」に対応するデータが分類されているが、クラスター 2 では「愉快」と「怖い」という異なる感情に対応するデータが分類されてしまっている。一方、図 5.1.1.4 より、CAE による学習ではクラスター 6 において LSTM AE では分類できていた「感動する」と「退屈」に対応するデータが同一クラスターに分類されてしまっているが、LSTM AE では分類できていなかった「愉快」と「怖い」に対応するデータはそれぞれクラスター 4 とクラスター 8 において分類されている。このことから、被験者 50 においては LSTM AE と CAE による学習では感情分類結果は異なるが、どちらの分類精度が高いかは判断できない。被験者 23 と被験者 50 において比較結果が異なるように、他 3 名の被験者に対しても被験者によって比較結果は異なり、LSTM AE と CAE についてはどちらの分類精度が高いかは一概には判断できないと言える。

5.2 VAE と LSTM VAE による個々の映像視聴者の解析

5.2.1 結果

被験者 39 と被験者 42 の感情分類結果を例として取り上げる．これらの感情分類結果におけるプロット色とプロットマーカと感情の対応を図 5.2.1.1 に示す．被験者 39 の VAE による感情分類結果を図 5.2.1.2 に，LSTM VAE による感情分類結果を図 5.2.1.3 に示す．次に，被験者 42 の VAE による感情分類結果を図 5.2.1.4 に，LSTM VAE による感情分類結果を図 5.2.1.5 に示す．また，図 5.2.1.3 と図 5.2.1.5 において，感情がまとまって分布しているものは黒丸で，未学習データに該当するものは赤丸で示している．図 5.2.1.2 と図 5.2.1.4 において，まとまって分布している感情は見受けられず，未学習データは広範囲に分布していたため図示することはできなかった．なお，被験者 39 及び被験者 42 はどちらも瞳孔径の欠損は 5 秒以内であった．

色	マーカ	感情
	●	怖い
	■	イライラする
	▼	悲しい
	▲	退屈
	★	安らぐ
	+	愉快
	×	すごい・興奮
	♦	感動する

図 5.2.1.1 プロット色とプロットマーカと感情の対応(自著文献[14] 図3 より引用)

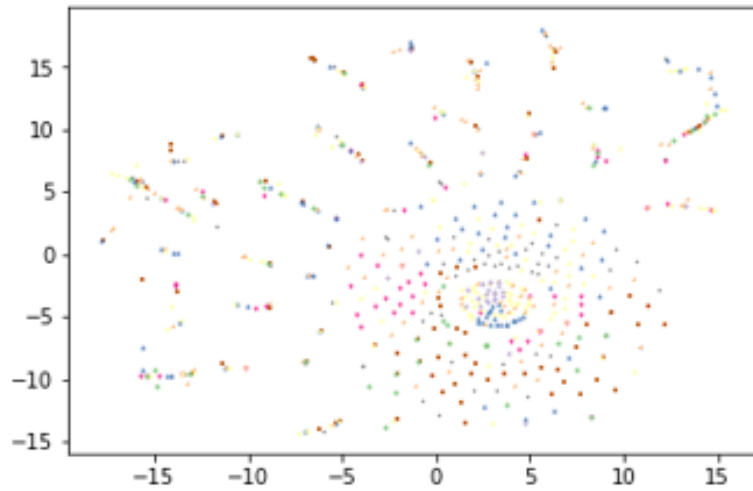


図 5.2.1.2 VAE による感情分類結果（被験者 39，自著文献[14] 図 4 より引用）

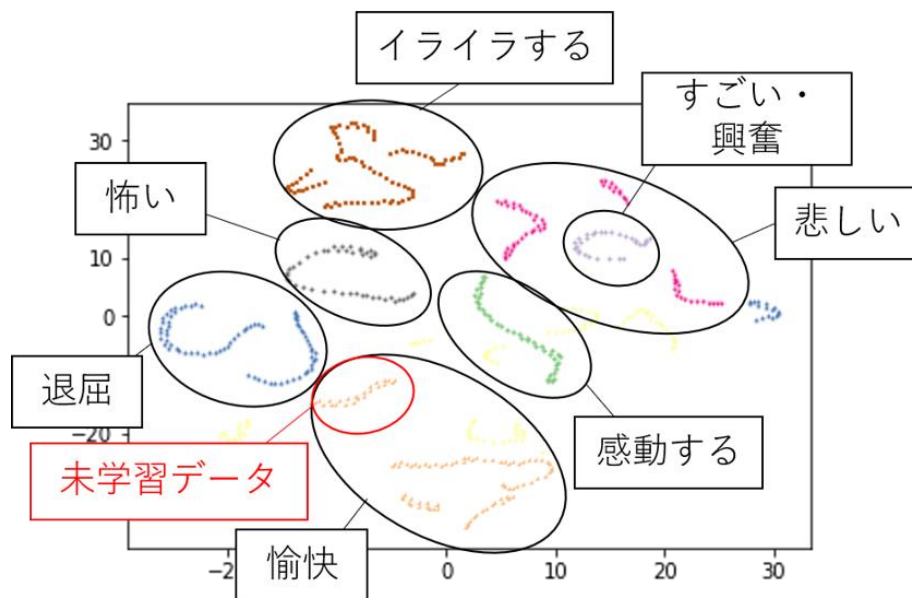


図 5.2.1.3 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 39，自著文献[14] 図 5 より引用）

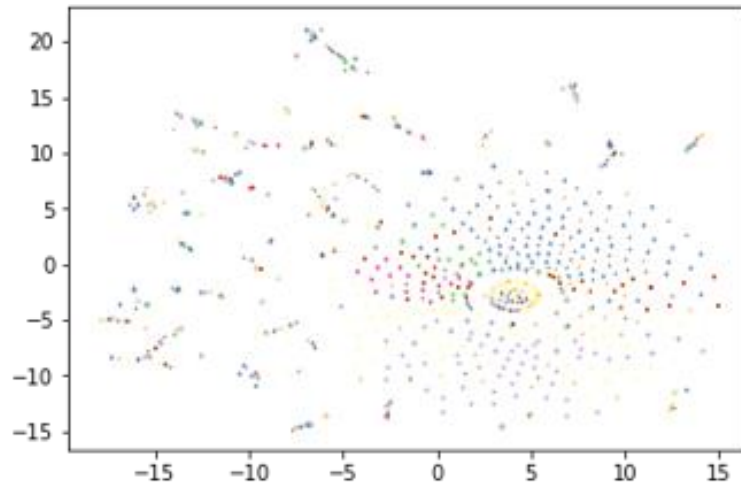


図 5.2.1.4 VAE による感情分類結果（被験者 42，自著文献[14] 図 6 より引用）

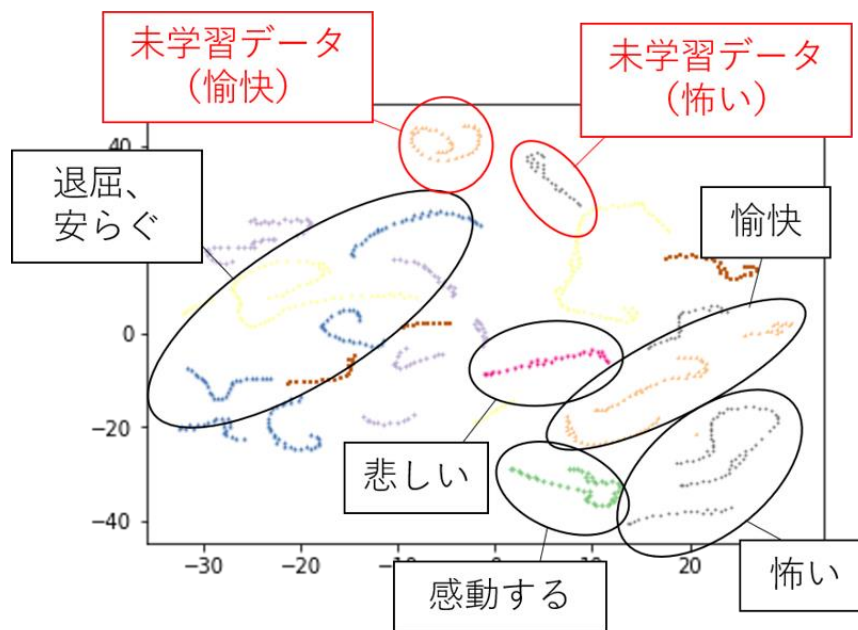


図 5.2.1.5 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 42，自著文献[14] 図 7 より引用）

5.2.2 考察

被験者 39 及び被験者 42 において，図 5.2.1.2 及び図 5.2.1.4 より，VAE による解析ではまとまって分布している感情は見受けられなかった．一方，図 5.2.1.3 及び図 5.2.1.5 より，LSTM VAE による解析では，多くの感情がそれぞれまとまって分布しており，高い感情分類精度が得られたと考える．残り 25 名の被験者についても同様の結果が得られた．このことから，LSTM VAE を用いることで，より高い精度の感情分類結果が得られると考えられる．

次に、未学習データについて着目する。被験者 39 において、図 5.2.1.2 より VAE による解析では未学習データは広範囲に分布していたが、図 5.2.1.3 より LSTM VAE による解析では学習データの「愉快」の感情の近くに分布しており、学習していないデータでも高い分類精度が得られたと言える。一方で、被験者 42 においては、図 5.2.1.4 の VAE による解析では未学習データは広範囲に分布しており、図 5.2.1.5 より LSTM VAE による解析ではそれぞれまとまって分布しているが、学習データの「愉快」と「怖い」の感情とは離れて分布している。残り 25 名の被験者のうち、11 名で同様に、LSTM VAE を用いることでより高い精度の感情分類結果は得られるが、未学習データの分類精度にはまだ課題がある。これは被験者間でアンケート回答数に差があるため、学習データが十分でない被験者が多かったことによると考えられる。

5.3 LSTM AE・CAE・LSTM VAE による複数映像視聴者間の解析

5.3.1 結果

LSTM AE による感情分類結果を図 5.3.1.1、CAE による感情分類結果を図 5.3.1.2 に示す。図 5.3.1.1 及び図 5.3.1.2 のクラスタリング結果の縦軸はクラスタ番号、横軸は累積時間を表している。また、クラスタ数は Gap 統計量を参考に 8 に統一した。LSTM VAE による感情分類結果を図 5.3.1.3、DBSCAN によるクラスタリング結果を感情ごとに可視化したものを図 5.3.1.4 から図 5.3.1.11 に示す。図 5.3.1.3 におけるプロット色とプロットマーカと感情の対応を図 5.2.1.1 と同様である。

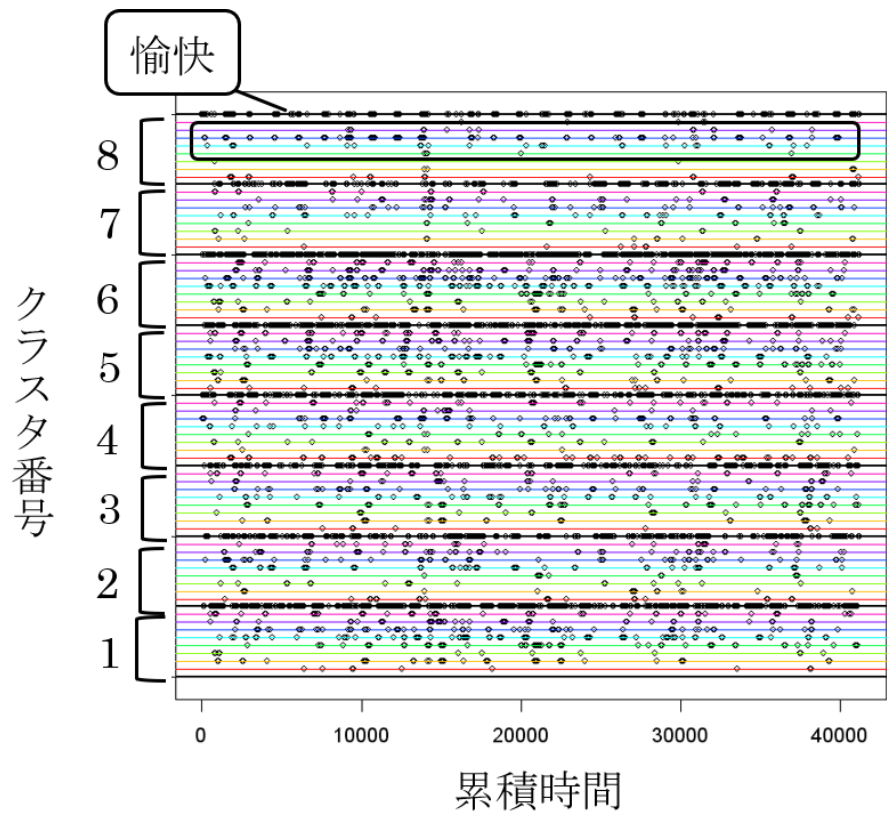


図 5.3.1.1 LSTM AE による感情分類結果

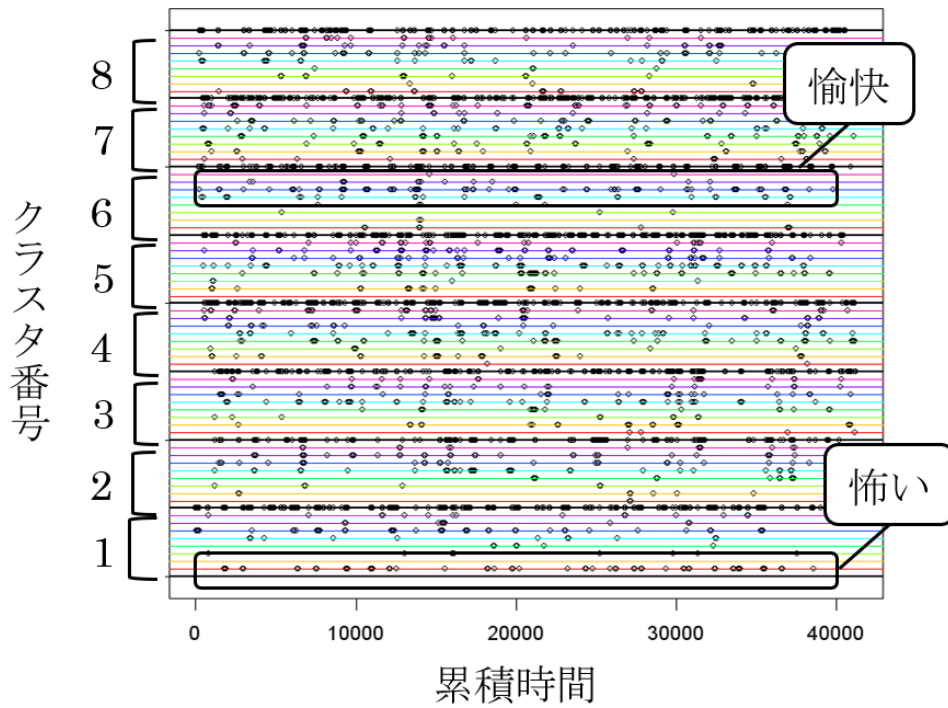


図 5.3.1.2 CAE による感情分類結果

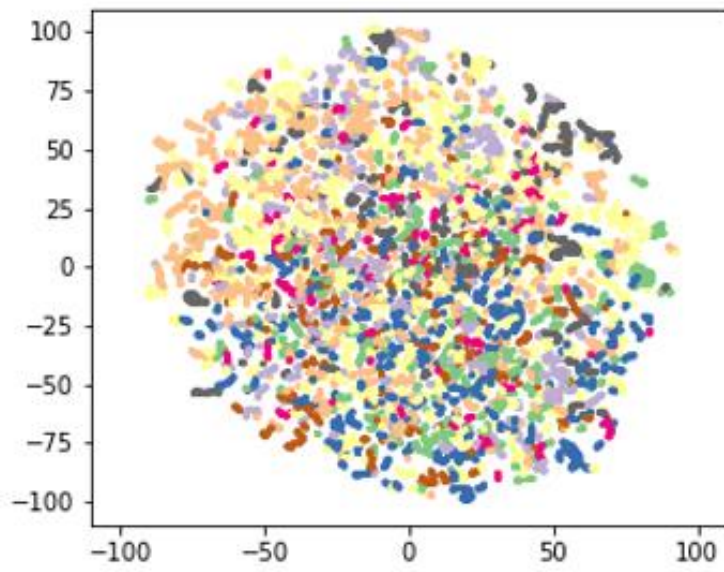


図 5.3.1.3 LSTM VAE による感情分類結果

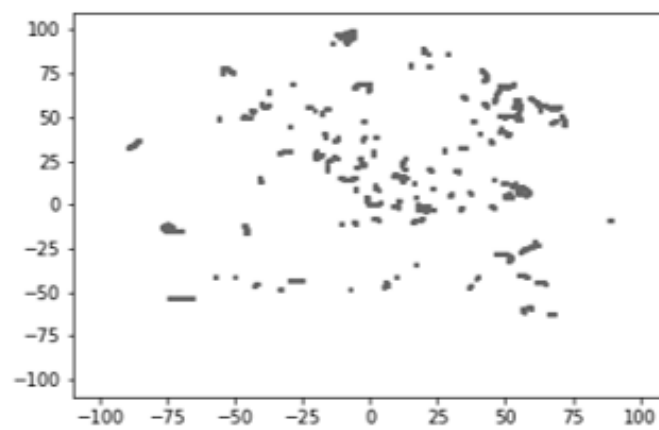


図 5.3.1.4 LSTM VAE による「怖い」の感情分類結果

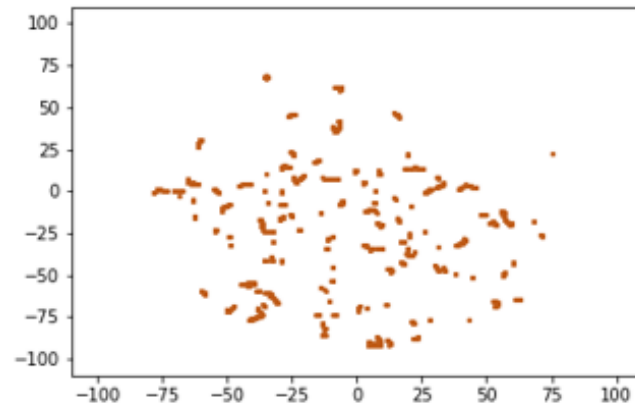


図 5.3.1.5 LSTM VAE による「イライラする」の感情分類結果

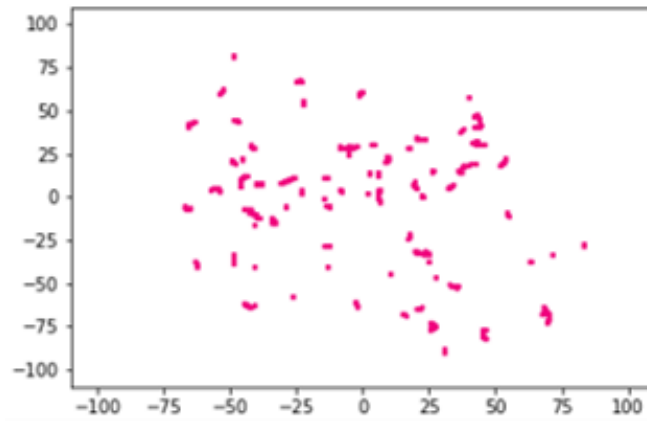


図 5.3.1.6 LSTM VAE による「悲しい」の感情分類結果

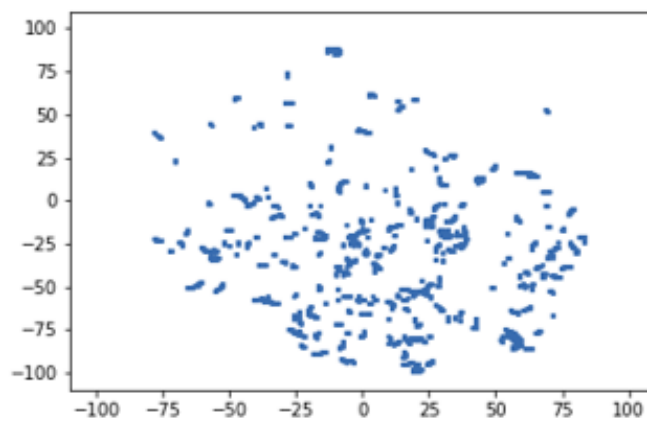


図 5.3.1.7 LSTM VAE による「退屈」の感情分類結果

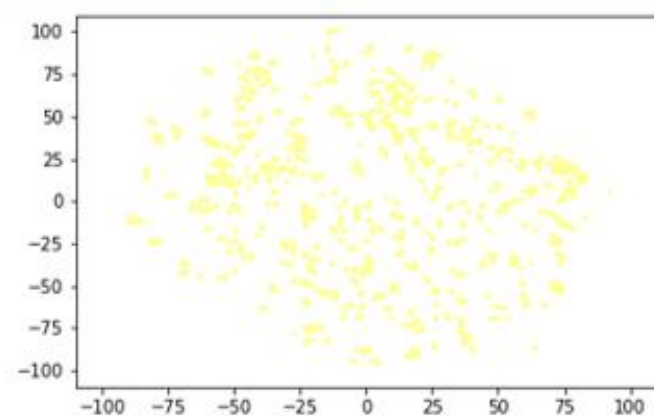


図 5.3.1.8 LSTM VAE による「安らぐ」の感情分類結果

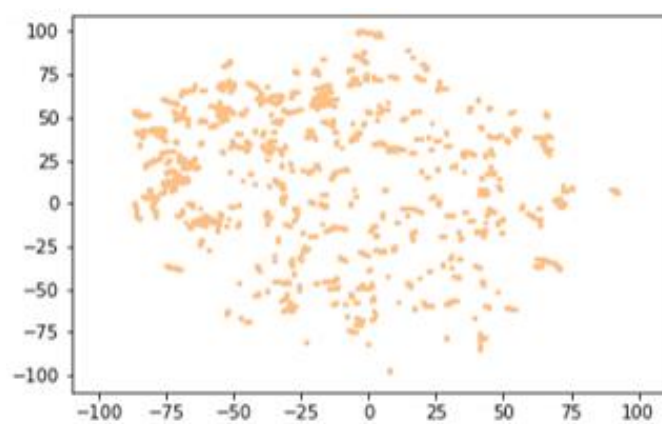


図 5.3.1.9 LSTM VAE による「愉快」の感情分類結果

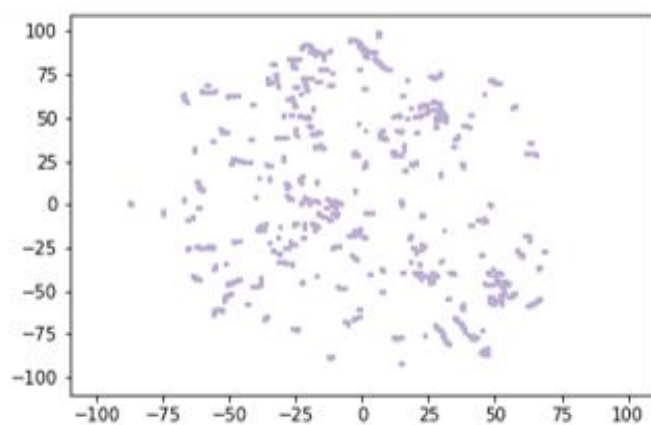


図 5.3.1.10 LSTM VAE による「すごい・興奮」の感情分類結果

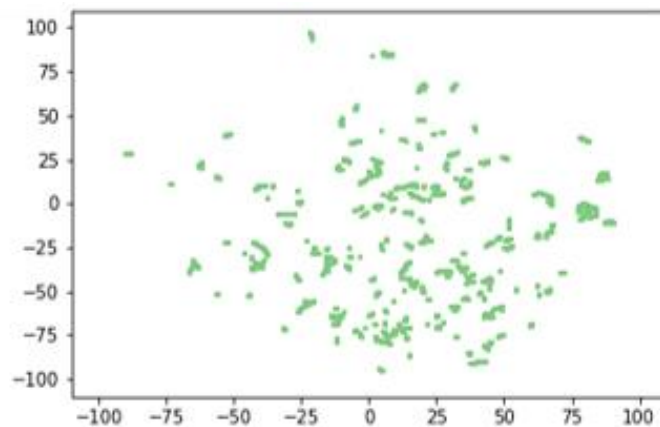


図 5.3.1.11 LSTM VAE による「感動する」の感情分類結果

5.3.2 考察

図 5.3.1.1 より，LSTM AE による解析では，クラスタ 8 に「愉快」に対応するデータが分類されているが，その他のクラスタでは複数の感情が同一クラスタに分類されている．図 5.3.1.2 より，CAE による解析においても，クラスタ 1 に「怖い」，クラスタ 6 に「愉快」に対応するデータが分類されているが，その他のクラスタでは複数の感情が同一クラスタに分類されている．図 5.3.1.3 より，LSTM VAE による解析においても，明確にまとまって分布している感情は見受けられなかったが，図 5.3.1.4 より「怖い」と図 5.3.1.7 より「退屈」は，全体に分布している他の感情と比較してまとまりがあると言える．これらの結果より，LSTM AE，CAE 及び LSTM VAE を用いることで，複数被験者間において各感情に共通の特徴は見受けられなかったが，分類精度は低いながらも一部の感情に関しては共通の特徴を持つ可能性があると言える．

5.4 SRC による複数映像視聴者間の解析

5.4.1 結果

表 5.4.1.1 に示す 2 種類の辞書とテストデータの分類方法で解析を行った．また，それぞれ，表 5.4.1.2 に示す 4 種類のデータセットで解析結果を比較した．条件(a)の感情推定結果の全被験者平均値を表 5.4.1.2 に，条件(b)の同様の平均値を表 5.4.1.3 に示す．表 5.4.1.3 では，「安らぐ」及び「すごい・興奮」を回答した被験者がいたため，これらの感情も結果に含まれている．また，正解率と F 値において最も高い値は赤字で示している．

表 5.4.1.1 SRC のテストデータと辞書の分類方法

	辞書	テストデータ
(a)	推定対象者以外の全被験者の映像 10 本の全データ	推定対象者の全映像のデータ
(b)	推定対象者の映像 1 から 8 及びそ れ以外の全被験者の映像 10 本の全 データ	推定対象者の映像 9 及び 10 のデータ

表 5.4.1.2 SRC のデータセットの種類

データセット
(ア) 全生体情報を使用し, z-score による正規化を行う
(イ) 全生体情報を使用し, z-score による正規化を行わない
(ウ) 顔特徴点のデータを除いて, z-score による正規化を行う
(エ) 基礎律動のデータを除いて, z-score による正規化を行う

表 5.4.1.3 SRC による(a)の感情推定結果

	正解率	F 値							感動 する
		怖い	イライラ する	悲しい	退屈	安らぐ	愉快	すごい・ 興奮	
(ア)	0.208	0.133	0.026	0.016	0.084	0.221	0.336	0.085	0.069
(イ)	0.244	0.432	0.086	0.051	0.165	0.270	0.305	0.116	0.124
(ウ)	0.217	0.307	0.112	0.064	0.146	0.248	0.271	0.135	0.140
(エ)	0.207	0.101	0.015	0.017	0.094	0.216	0.333	0.123	0.067

表 5.4.1.4 SRC による(b)の感情推定結果

	正解率	F 値			
		怖い	安らぐ	愉快	すごい・ 興奮
(ア)	0.321	0.346	0.114	0.486	0.330
(イ)	0.407	0.597	0.175	0.490	0.115
(ウ)	0.324	0.485	0.263	0.412	0.147
(エ)	0.319	0.335	0.168	0.469	0.342

5.4.2 考察

まず、データセットの種類について、表 5.4.1.3 及び表 5.4.1.4 より、(イ) のデータセットを用いたときに感情推定精度が最も高いことが分かる。このことから、顔特徴点及び基礎律動を含めることで推定精度が向上するが、z-score による正規化を行わずに瞳孔径変化率や RRI 変化率のように数値の絶対値が大きい生体指標を辞書中に使用することで、推定精度が向上することが分かる。さらに、(ウ) のデータセットに着目すると、表 5.4.1.3 より条件(a)のときは(ウ) のデータセットを用いたときに F 値が最も高くなる感情が複数あるが、表 5.4.1.4 より条件(b)のときは「安らぐ」だけ F 値が最も高くなっている。このことから、顔特徴点は個人差を除去することが難しく、推定対象者の顔特徴点を含めることでより高い感情推定精度が得られると分かる。また、(エ) のデータセットに着目すると、表 5.4.1.3 及び表 5.4.1.4 より、(エ) のデータセットを用いたときはどちらも感情推定精度は低く、基礎律動は重要な指標であることが分かる。

次に、複数被験者間での感情推定精度について、表 5.4.1.3 より、どのデータセットでも推定精度は不十分であることから、複数被験者間で各感情に共通した特徴は少ないと考えられる。一方、表 5.4.1.4 より、(イ)のデータセットを用いたときに「怖い」と「愉快」で比較的高い推定精度が得られた。よって、推定対象者の他のデータが辞書にあれば、未知の映像に対する一部の感情の推定ができると考えられる。

第6章 結論

6.1 まとめ

本研究では、生体情報を用いた個々の映像視聴者及び複数映像視聴者間の感情分類及び推定を行った。本研究で得られた結果は以下の通りである。

まず、個々の映像視聴者の感情分類において、LSTM AE と CAE の解析結果の比較を行った。LSTM AE による学習と CAE による学習後、特徴表現を抽出して k-means 法によるクラスタリングを行った。得られたクラスタリング結果とアンケート回答を対応付けさせた。その結果、解析を行った 6 名の被験者はそれぞれ比較結果が異なり、LSTM AE と CAE についてはどちらの分類精度が高いかは一概には判断できなかった。

次に、個々の映像視聴者の感情分類において、VAE と LSTM VAE の解析結果の比較を行った。VAE による学習と LSTM VAE による学習後、潜在変数を t-SNE を用いて 2 次元に圧縮して可視化を行い、感情の分布を確認した。その結果、被験者 27 名全員において LSTM VAE を用いることでより高い感情分類精度が得られることが分かった。一方で、被験者 27 名のうち被験者 12 名については学習に使っていない未知のデータに対する分類精度にはまだ課題があることが分かった。

最後に、複数映像視聴者間の感情推定において、LSTM AE, CAE, LSTM VAE による学習を行い、それぞれ個々の映像視聴者の解析時と同様の手法で感情分類を行った。いずれの手法においても、複数被験者間において各感情に共通の特徴は見受けられなかったが、分類精度は低いながらも一部の感情に関しては共通の特徴を持つ可能性があると言える。また、複数映像視聴者間の感情推定において、SRC の辞書中に含まれない映像視聴者の感情推定を行った。その結果、推定対象者の全データを推定データとすると感情推定精度は低く、複数被験者間で各感情に共通した特徴は少ないと考えられる。一方、推定対象者の他のデータが辞書にあれば一部の感情の推定精度は高いことから、未知の映像に対する一部の感情の推定ができると考えられる。

これらのことから、生体情報を用いた個々の映像視聴者の感情分類において、LSTM VAE が有効である可能性が示唆された。また、生体情報を用いた複数映像視聴者間の感情推定において、SRC の辞書中に自身のデータが全くない被験者の感情推定は難しいが、推定対象者の他のデータがあれば辞書に含まれない映像に対する一部の感情を推定できる可能性が示唆された。

6.2 今後の課題

今後の課題として、クラスタリング結果や t-SNE による感情分類結果の評価に関して、実験者の主観によらない定量的な評価方法を検討する必要がある。また、学習に使用していない未知のデータに対しての分類精度及び推定精度を向上させるために、より多くの学習データを取得する必要がある。

図一覧

図 2.2.1	10-10 法の電極配置位置（文献[10] Figure2 より引用）	6
図 4.1.3.1	クラスタ内の線とアンケート番号の対応	11
図 4.1.3.2	クラスタリング結果の例	11
図 4.2.1.1	取得した顔特徴点（文献[31] Figure 2 より引用）	15
図 4.2.2.1	個々の映像視聴者の解析における瞳孔径のヒストグラム	16
図 4.2.2.2	複数被験者間の解析における瞳孔径のヒストグラム	16
図 4.2.2.3	β/α のヒストグラム（AF7）	17
図 4.2.2.4	γ/α のヒストグラム（AF7）	17
図 4.2.2.5	β/α のヒストグラム（AF8）	18
図 4.2.2.6	γ/α のヒストグラム（AF8）	18
図 4.2.2.7	β/α のヒストグラム（TP9）	19
図 4.2.2.8	γ/α のヒストグラム（TP9）	19
図 4.2.2.9	β/α のヒストグラム（TP10）	20
図 4.2.2.10	γ/α のヒストグラム（TP10）	20
図 4.2.2.11	RRI 変化率のヒストグラム	21
図 4.2.2.12	個々の映像視聴者の解析における右目頭のヒストグラム	22
図 4.2.2.13	複数被験者間の解析における右目頭のヒストグラム	22
図 4.2.2.14	個々の映像視聴者の解析における左目頭のヒストグラム	23
図 4.2.2.15	複数被験者間の解析における左目頭のヒストグラム	23
図 5.1.1.1	LSTM AE による解析結果（被験者 23）	24
図 5.1.1.2	CAE による解析結果（被験者 23）	25
図 5.1.1.3	LSTM AE による感情分類結果（被験者 50）	25
図 5.1.1.4	CAE による感情分類結果（被験者 50）	26
図 5.2.1.1	プロット色とプロットマーカと感情の対応（自著文献[14] 図 3 より引用）	27
図 5.2.1.2	VAE による感情分類結果（被験者 39, 自著文献[14] 図 4 より引用）	28
図 5.2.1.3	LSTM VAE による感情分類結果（被験者 39, 自著文献[14] 図 5 より引用）	28
図 5.2.1.4	VAE による感情分類結果（被験者 42, 自著文献[14] 図 6 より引用）	29
図 5.2.1.5	LSTM VAE による感情分類結果（被験者 42, 自著文献[14] 図 7 より引用）	29
図 5.3.1.1	LSTM AE による感情分類結果	31
図 5.3.1.2	CAE による感情分類結果	31
図 5.3.1.3	LSTM VAE による感情分類結果	32

図 5.3.1.4	LSTM VAE による「怖い」の感情分類結果	32
図 5.3.1.5	LSTM VAE による「イライラする」の感情分類結果.....	33
図 5.3.1.6	LSTM VAE による「悲しい」の感情分類結果.....	33
図 5.3.1.7	LSTM VAE による「退屈」の感情分類結果	33
図 5.3.1.8	LSTM VAE による「安らぐ」の感情分類結果.....	34
図 5.3.1.9	LSTM VAE による「愉快」の感情分類結果	34
図 5.3.1.10	LSTM VAE による「すごい・興奮」の感情分類結果.....	34
図 5.3.1.11	LSTM VAE による「感動する」の感情分類結果	35

表一覧

表 3.2.1	実験に使用した装置（自著文献[14] 表 1 より引用）	8
表 3.6.1	実験に使用したアンケート項目（自著文献[14] 表 2 より引用）	9
表 4.1.5.1	CAE, VAE, LSTM VAE の学習条件	12
表 4.1.6.1	LSTM AE, CAE, LSTM VAE の学習条件	12
表 5.4.1.1	SRC のテストデータと辞書の分類方法	36
表 5.4.1.2	SRC のデータセットの種類	36
表 5.4.1.3	SRC による(a)の感情推定結果	36
表 5.4.1.4	SRC による(b)の感情推定結果	37

付録

付録 A LSTM AE と CAE による個々の映像視聴者の解析

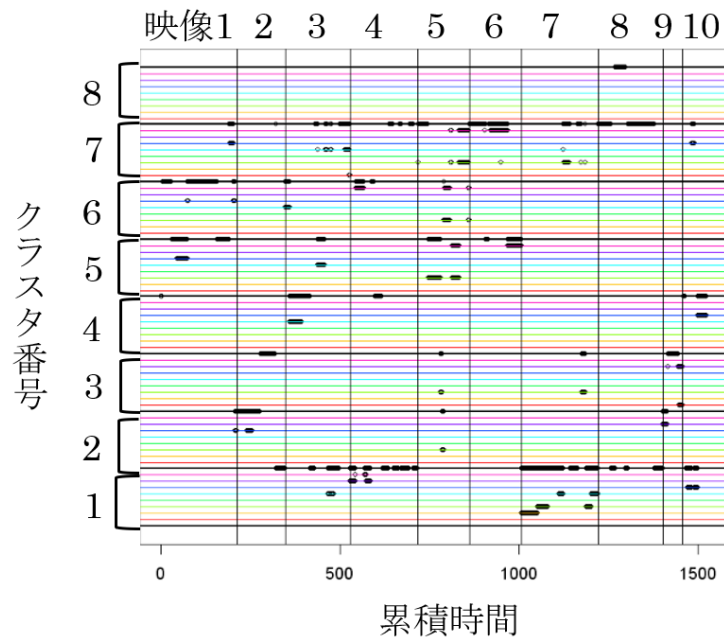


図 A-1 LSTM AE による感情分類結果（被験者 4）

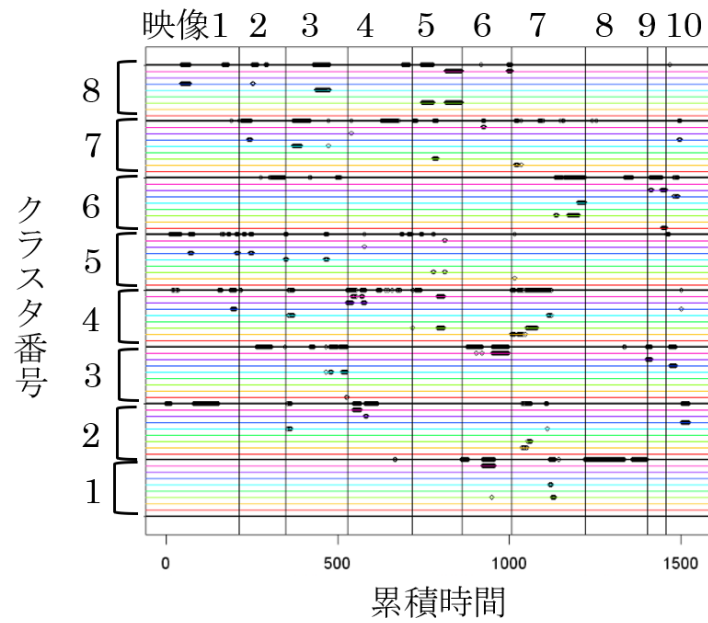


図 A-2 CAE による感情分類結果（被験者 4）

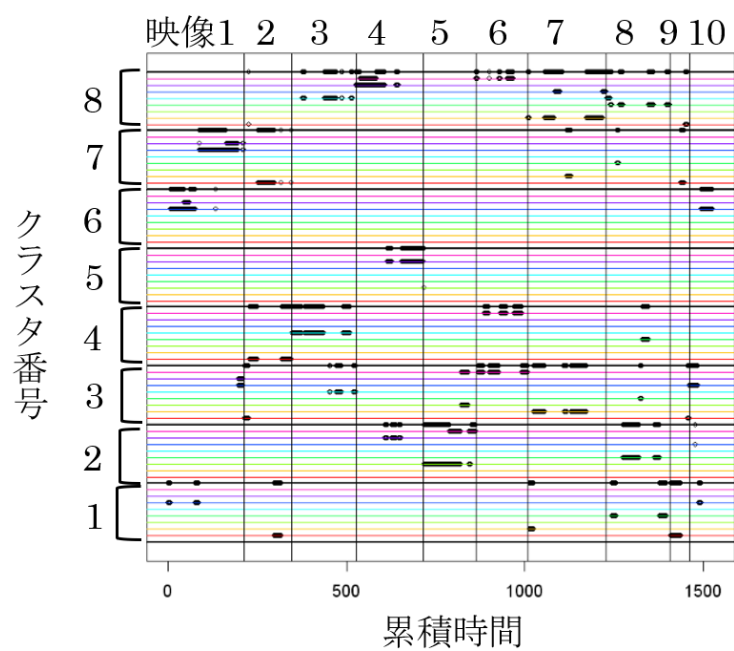


図 A-3 LSTM AE による感情分類結果（被験者 21）

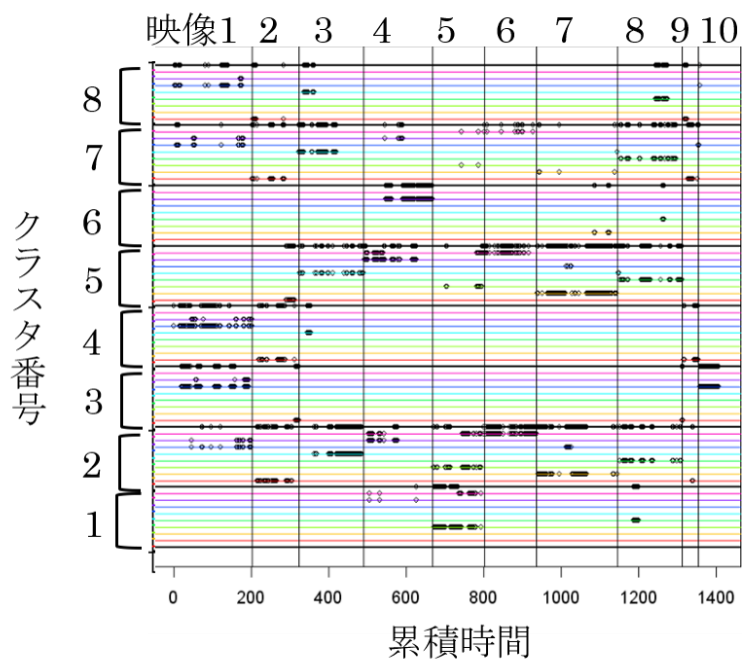


図 A-4 CAE による感情分類結果（被験者 21）

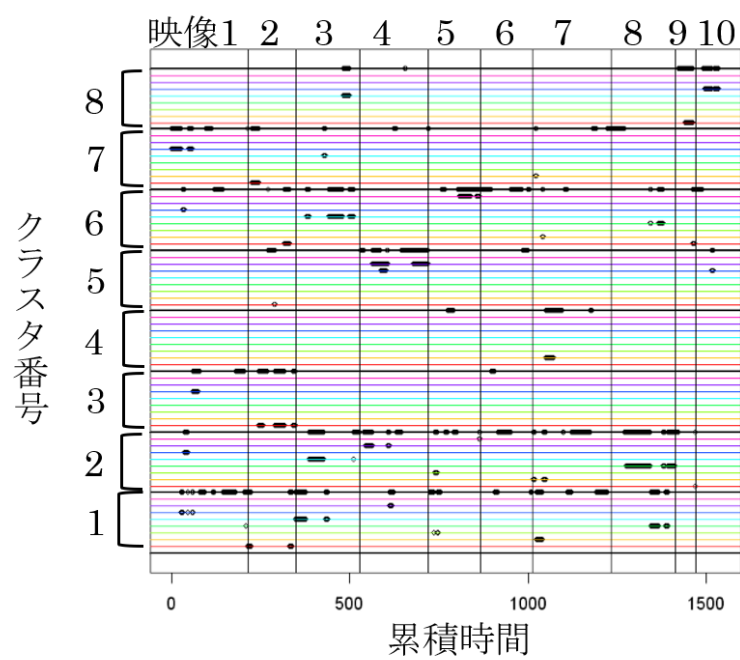


図 A-5 LSTM AE による感情分類結果（被験者 47）

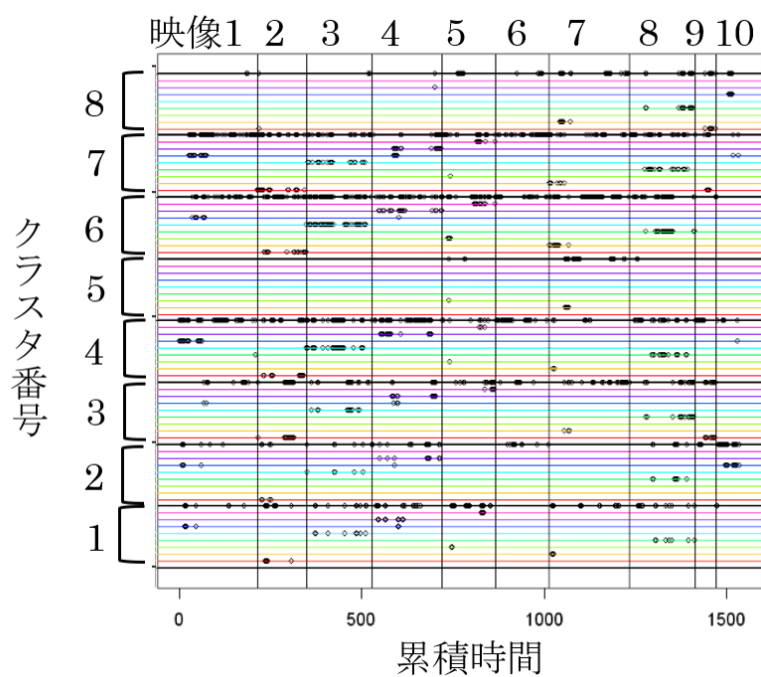


図 A-6 CAE による感情分類結果（被験者 47）

付録 B VAE と LSTM VAE による個々の映像視聴者の解析

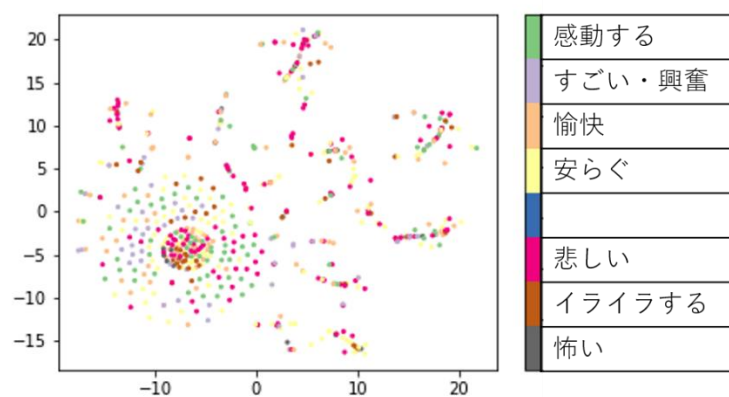


図 B-1 VAE による感情分類結果（被験者 4）

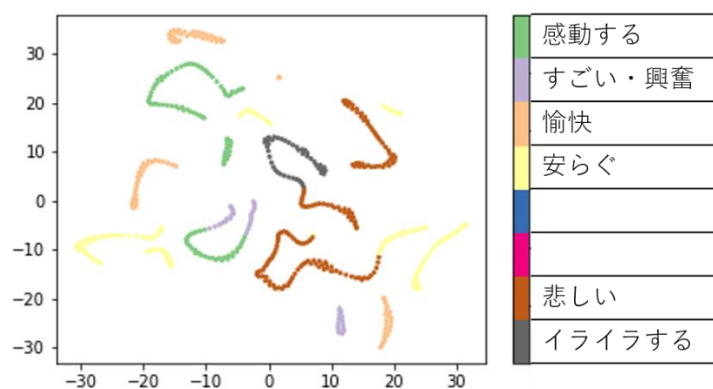


図 B-2 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 4）

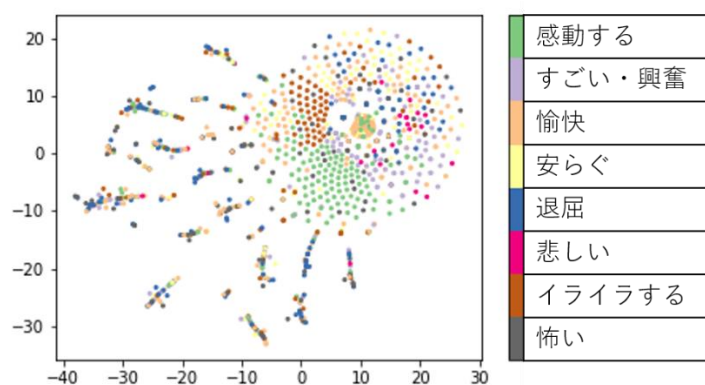


図 B-3 VAE による感情分類結果（被験者 12）

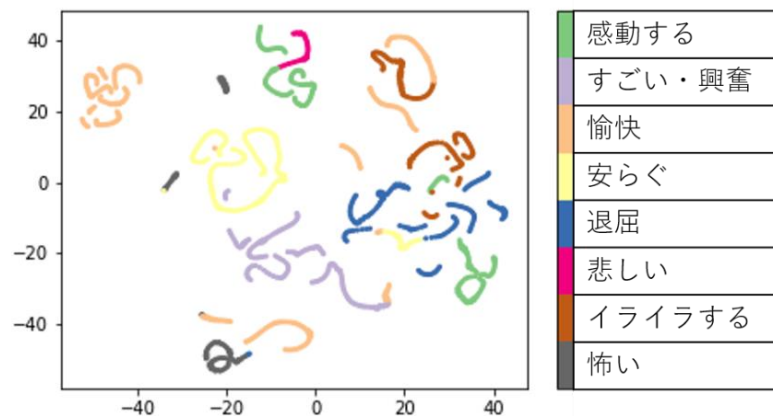


図 B-4 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 12）

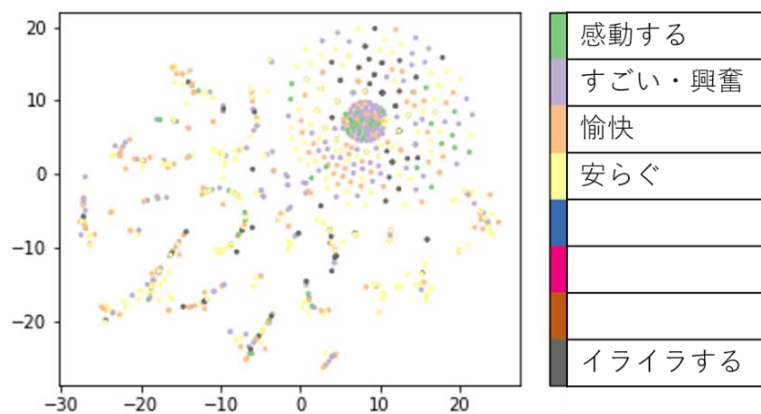


図 B-5 VAE による感情分類結果（被験者 13）

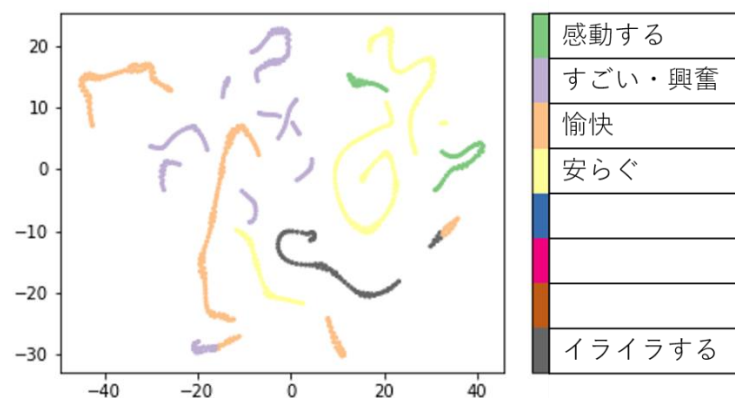


図 B-6 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 13）

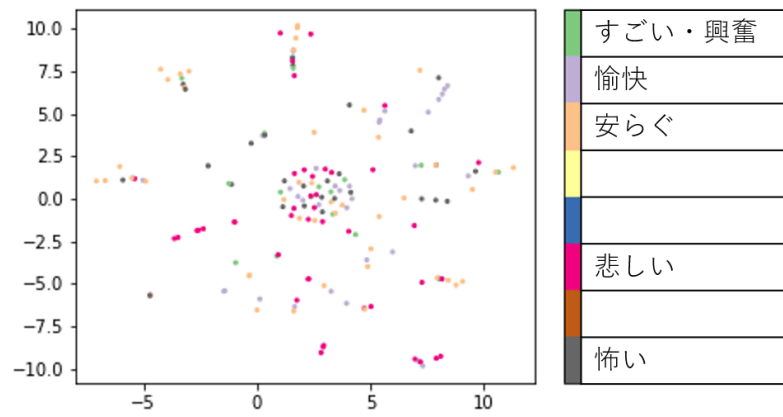


図 B-7 VAE による感情分類結果（被験者 17）

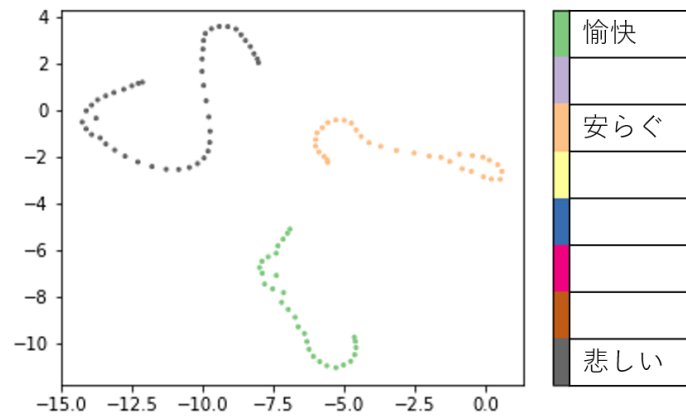


図 B-8 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 17）

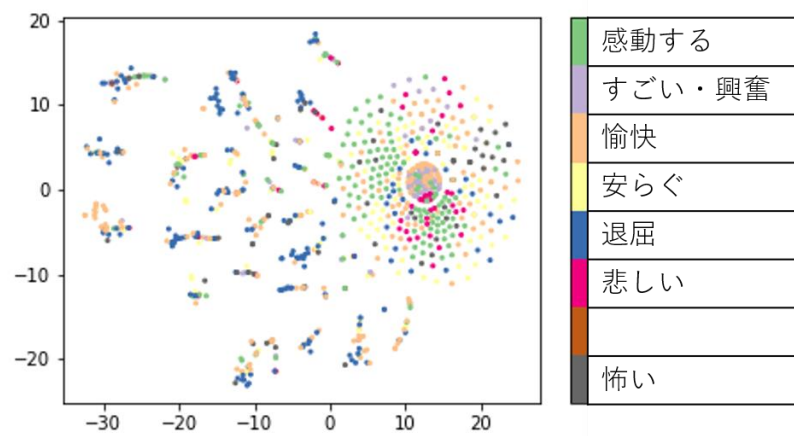


図 B-9 VAE による感情分類結果（被験者 18）

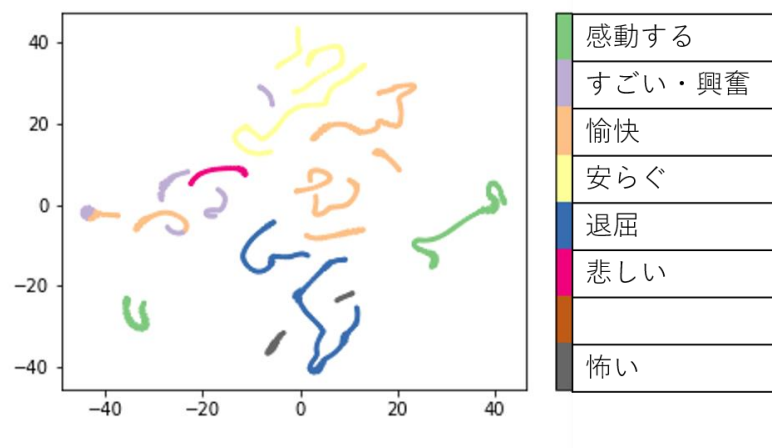


図 B-10 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 18）

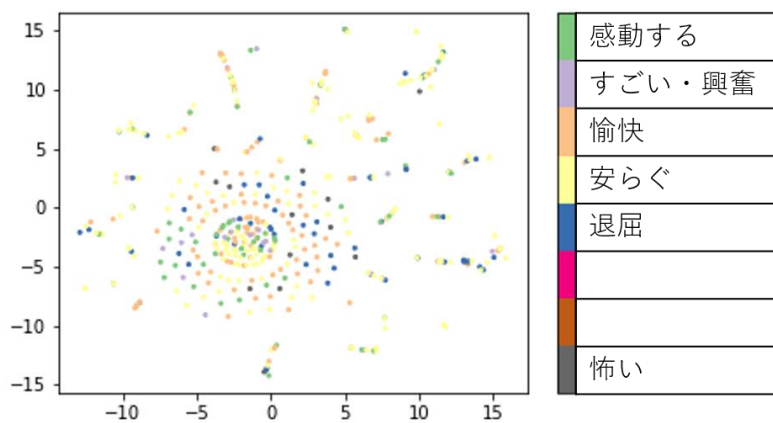


図 B-11 VAE による感情分類結果（被験者 19）

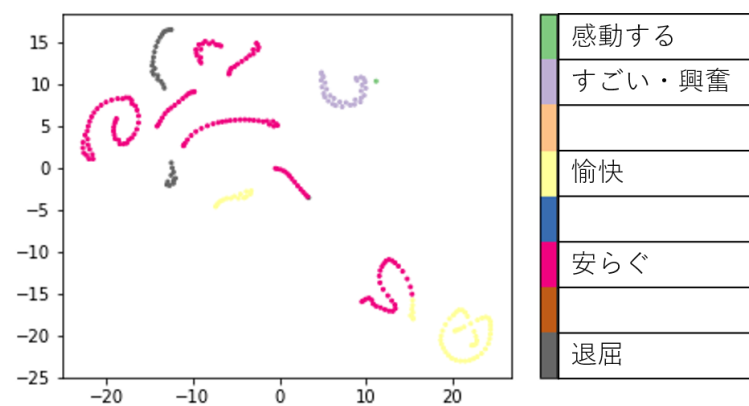


図 B-12 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 19）

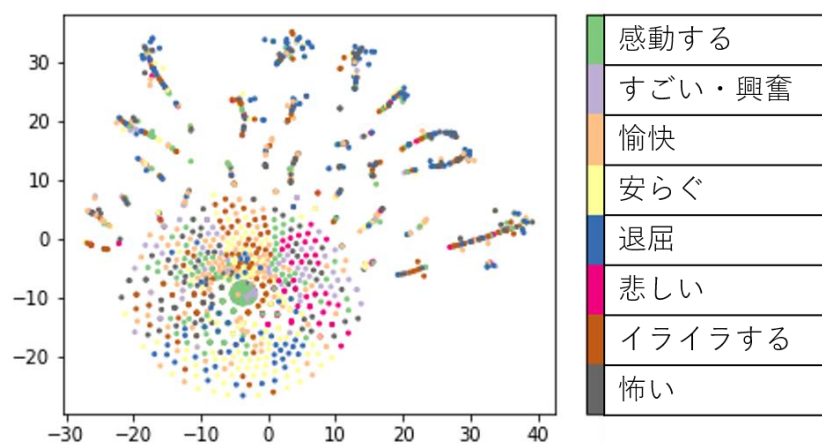


図 B-13 VAE による感情分類結果（被験者 23）

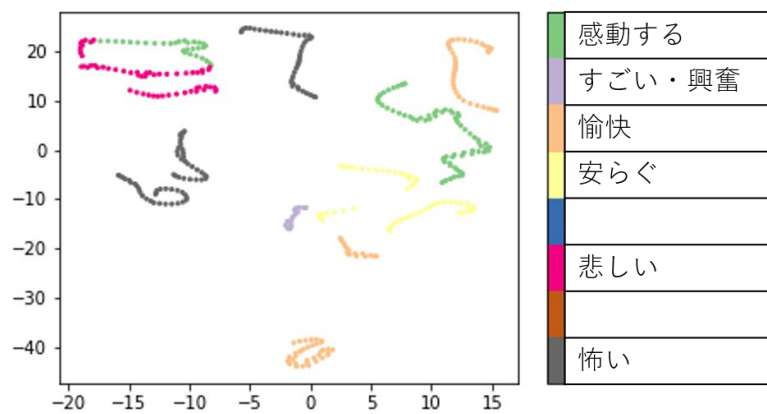


図 B-14 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 23）

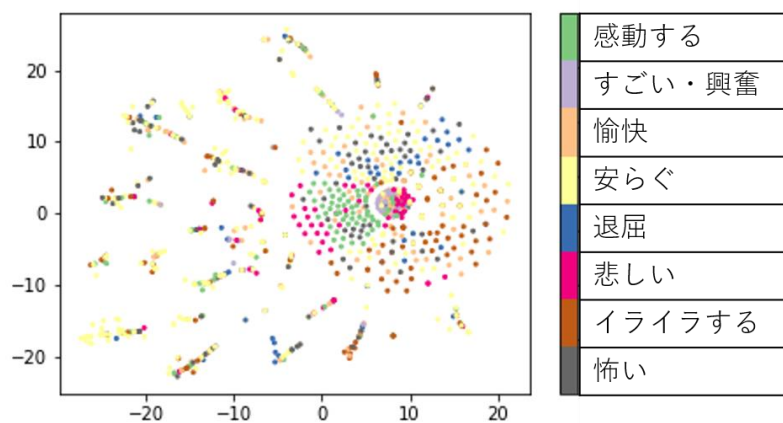


図 B-15 VAE による感情分類結果（被験者 25）

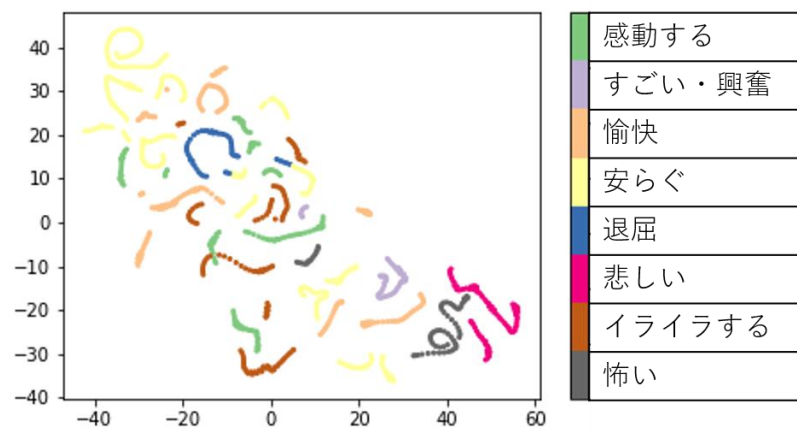


図 B-16 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 25）

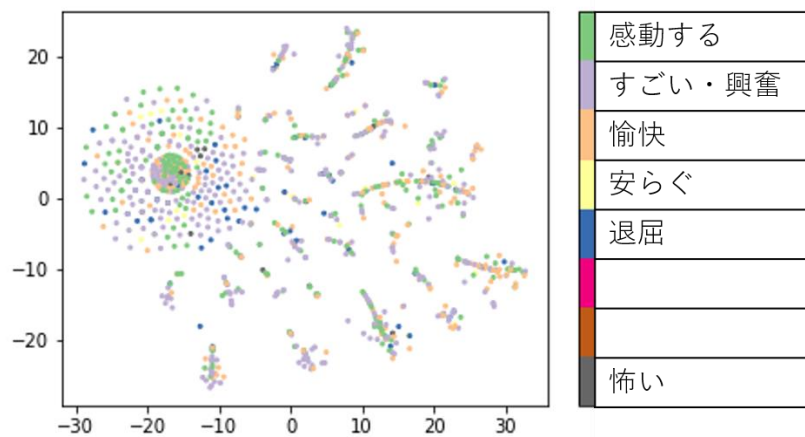


図 B-17 VAE による感情分類結果（被験者 27）

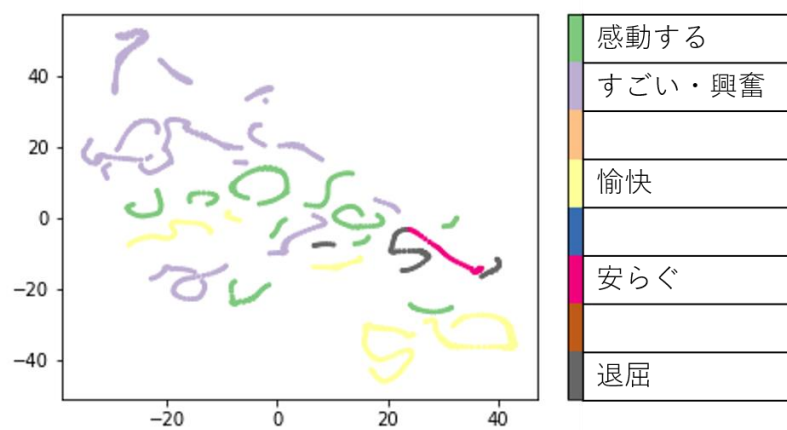


図 B-18 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 27）

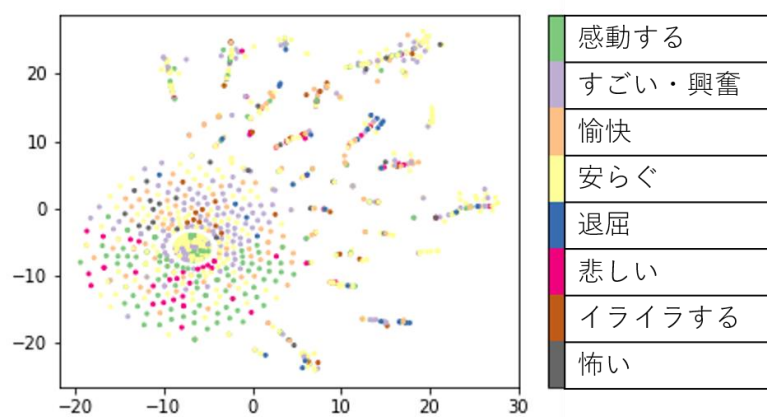


図 B-19 VAE による感情分類結果（被験者 29）

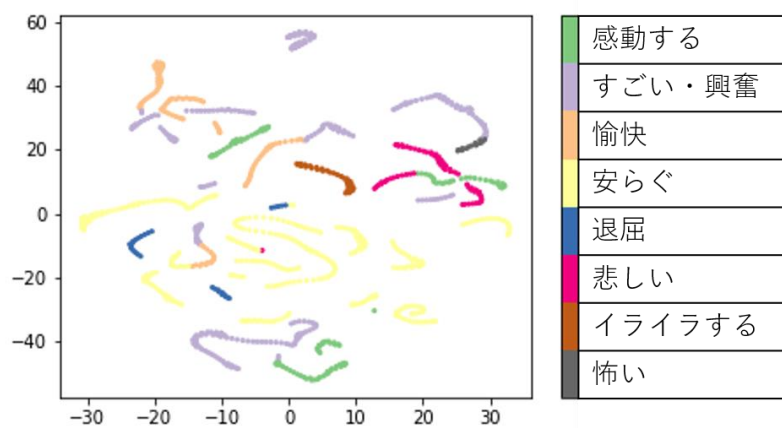


図 B-20 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 29）

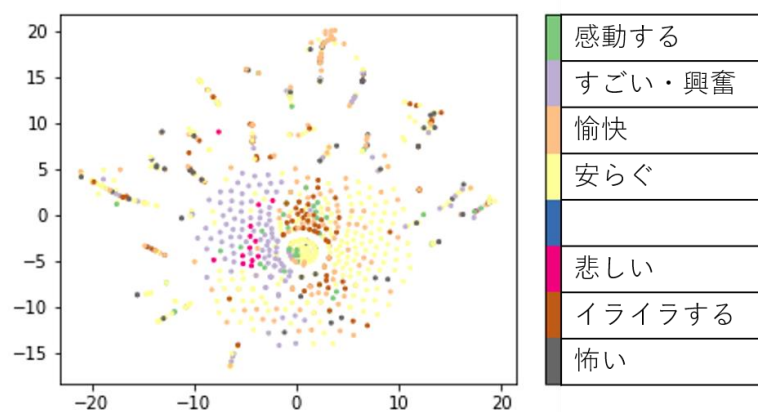


図 B-21 VAE による感情分類結果（被験者 30）

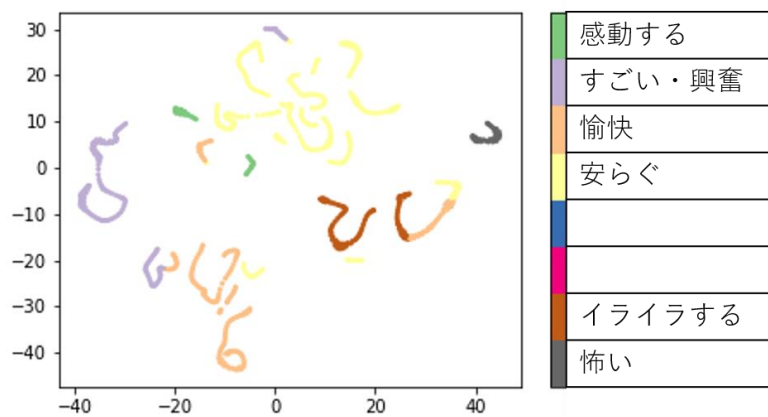


図 B-22 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 30）

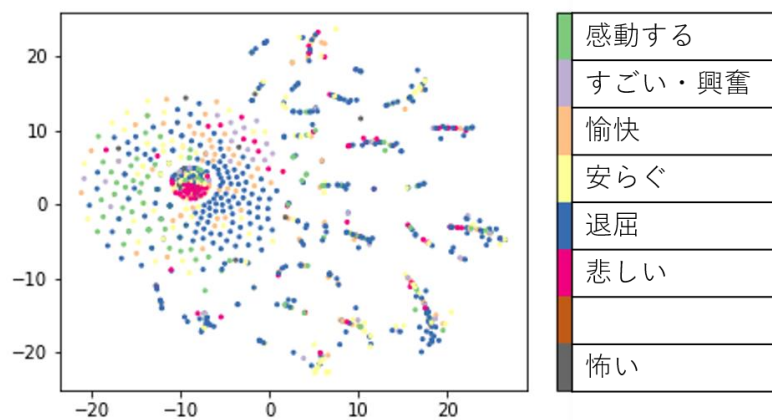


図 B-23 VAE による感情分類結果（被験者 33）

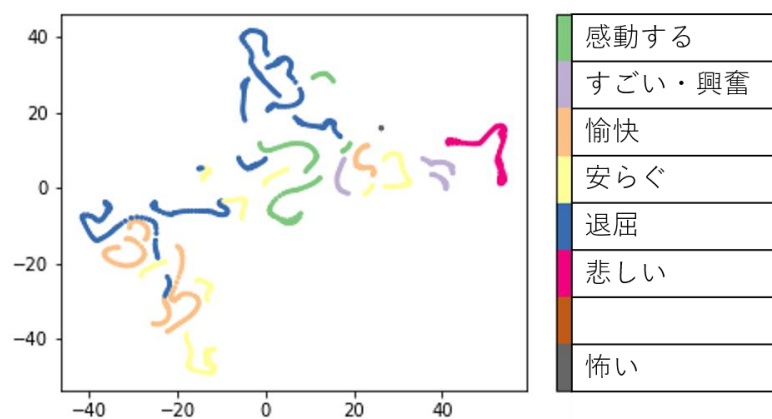


図 B-24 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 33）

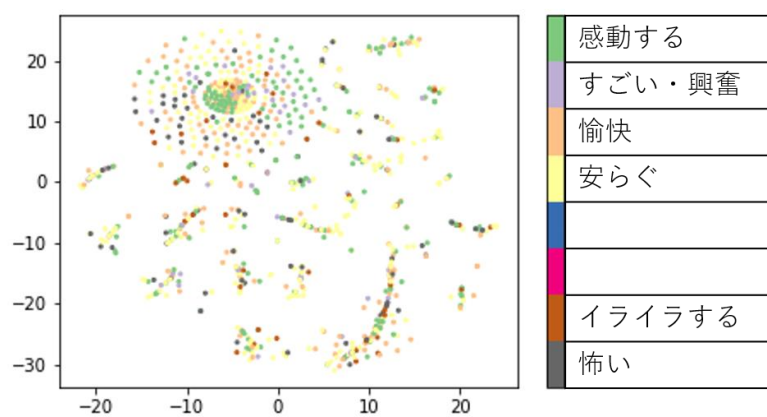


図 B-25 VAE による感情分類結果（被験者 34）

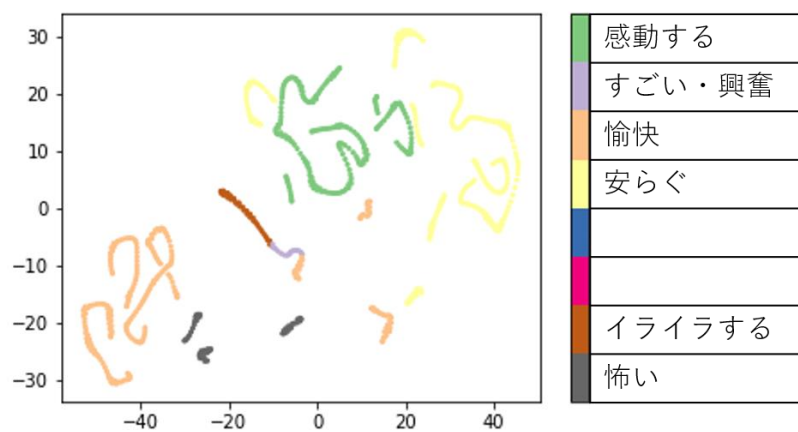


図 B-26 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 34）

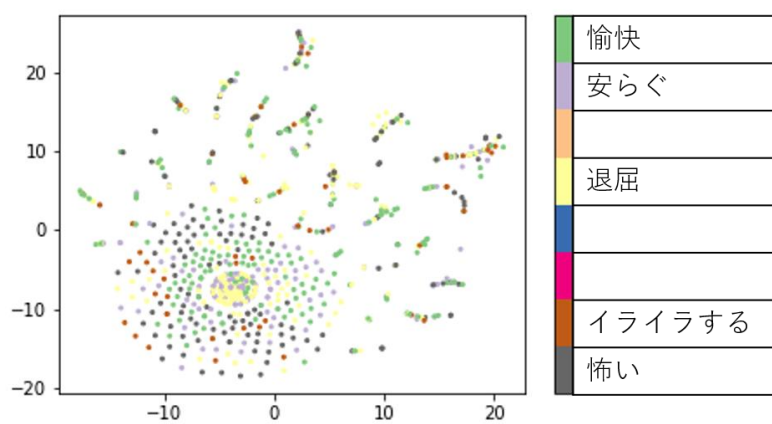


図 B-27 VAE による感情分類結果（被験者 35）

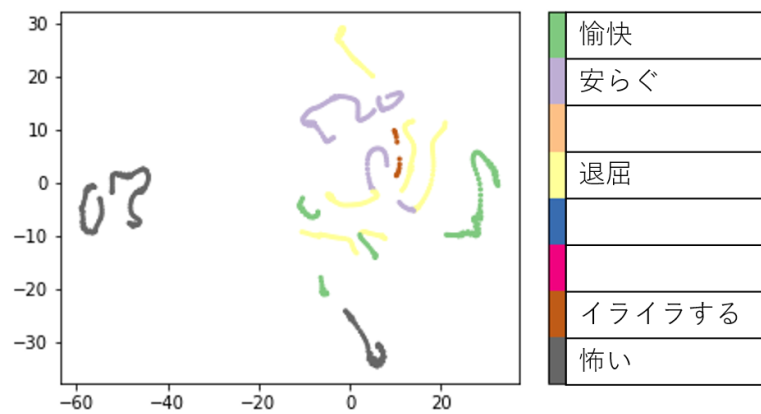


図 B-28 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 35）

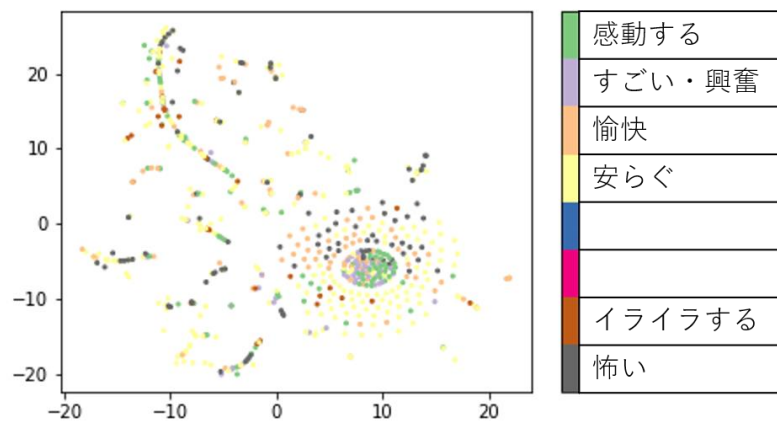


図 B-29 VAE による感情分類結果（被験者 36）

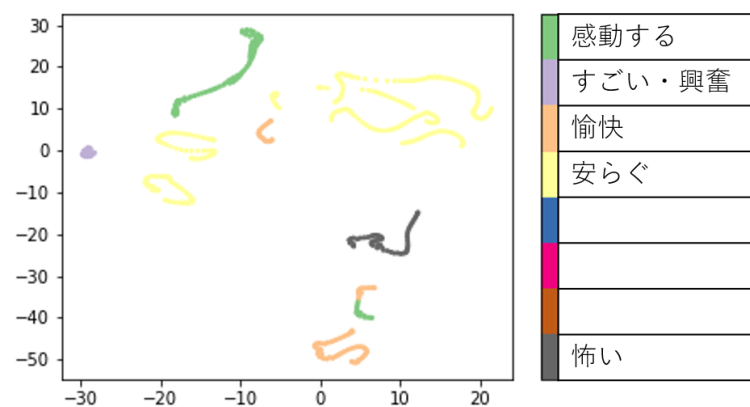


図 B-30 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 36）

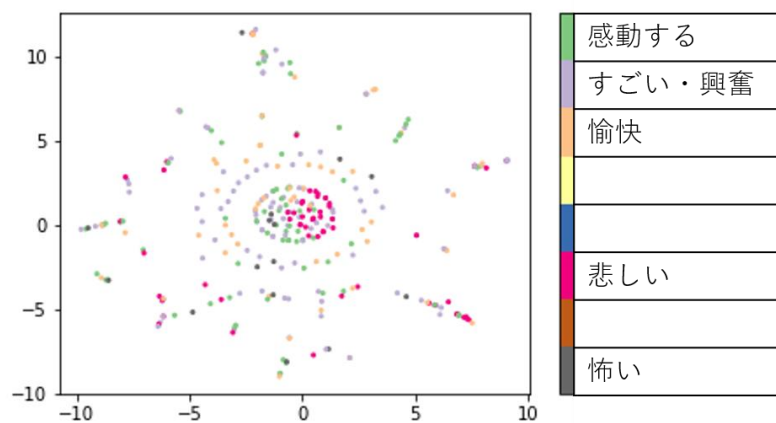


図 B-31 VAE による感情分類結果（被験者 37）

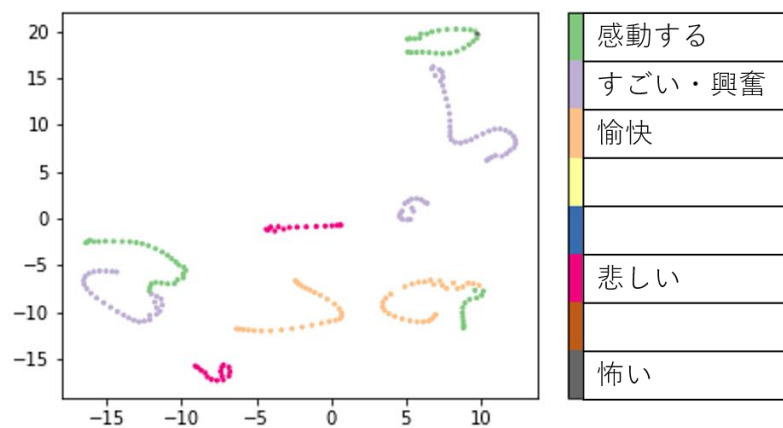


図 B-32 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 37）

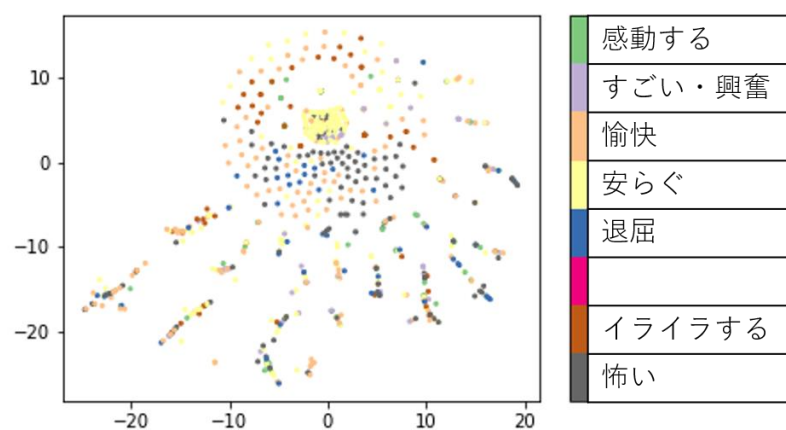


図 B-33 VAE による感情分類結果（被験者 38）

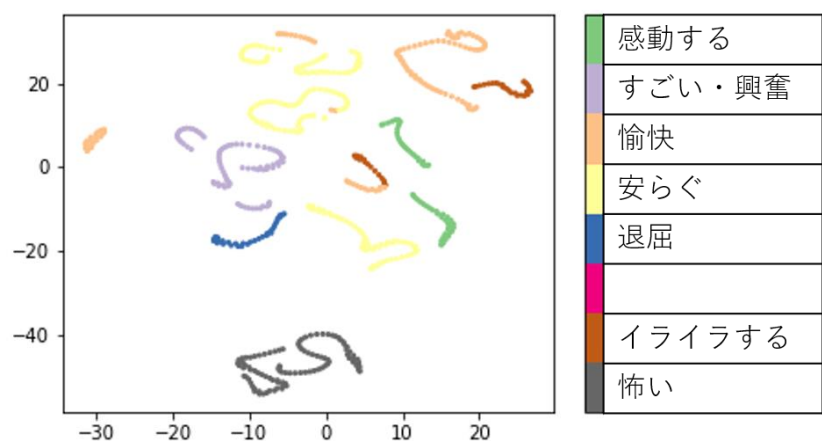


図 B-34 LSTM VAE による感情分類結果 (被験者 38)

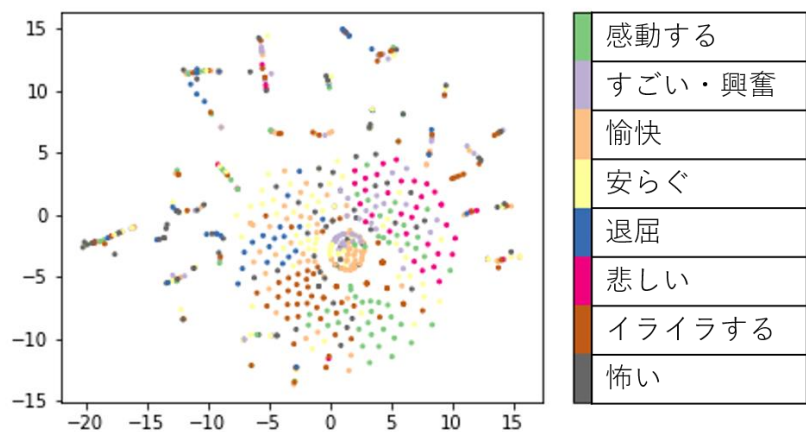


図 B-35 VAE による感情分類結果 (被験者 40)

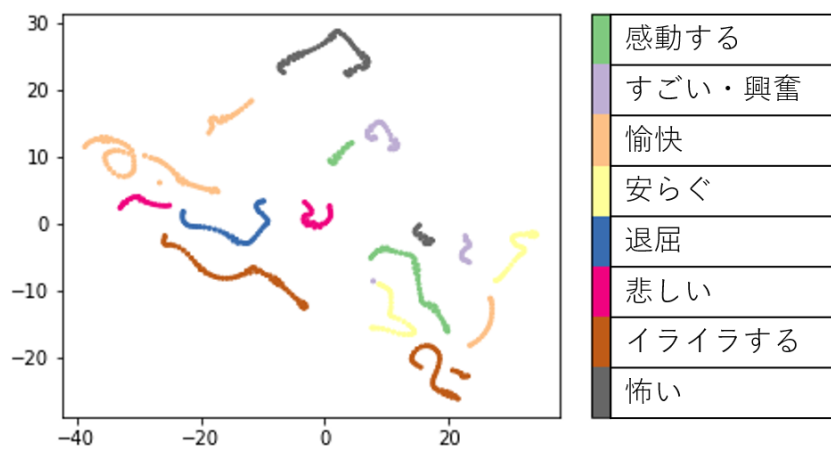


図 B-36 LSTM VAE による感情分類結果 (被験者 40)

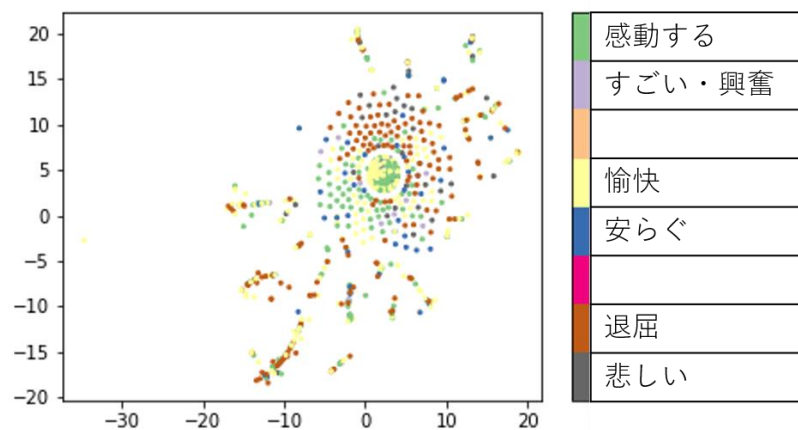


図 B-37 VAE による感情分類結果（被験者 42）

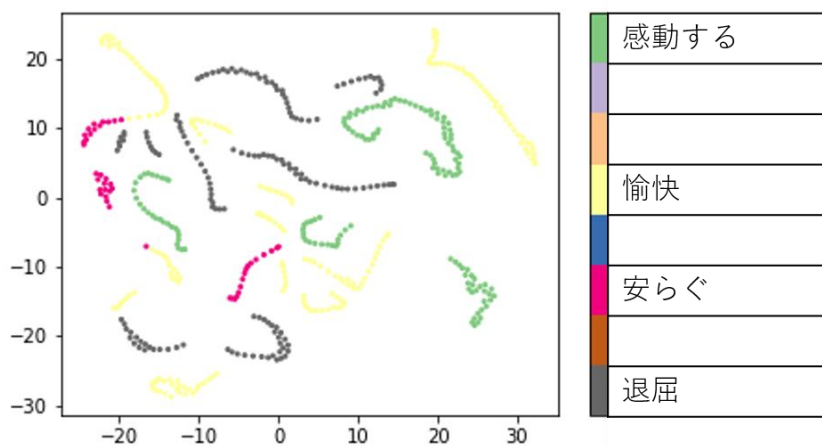


図 B-38 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 42）

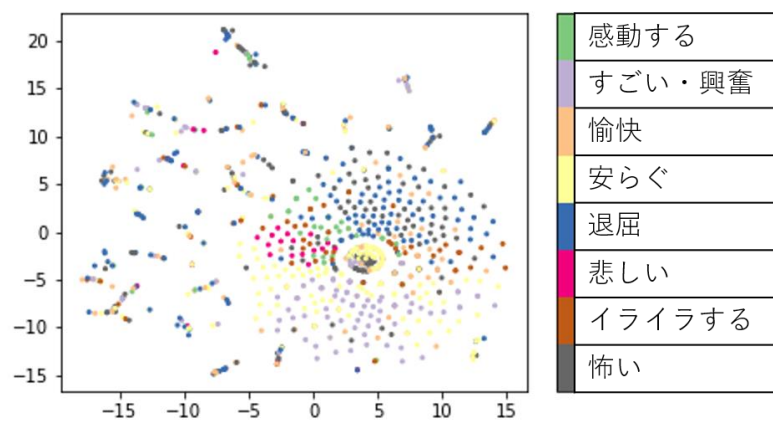


図 B-39 VAE による感情分類結果（被験者 47）

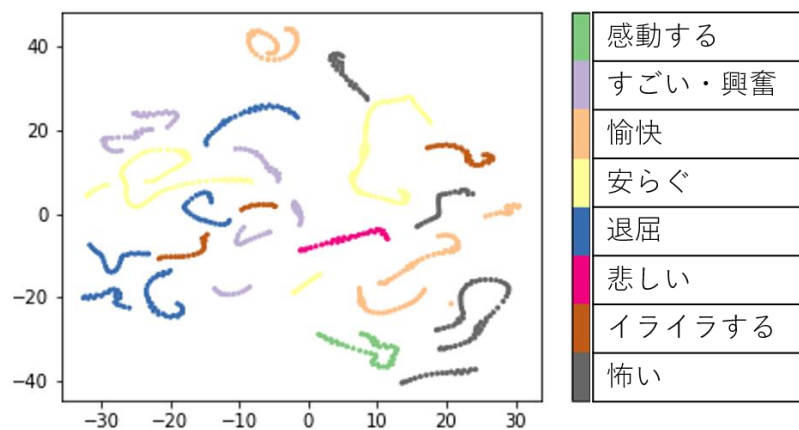


図 B-40 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 47）

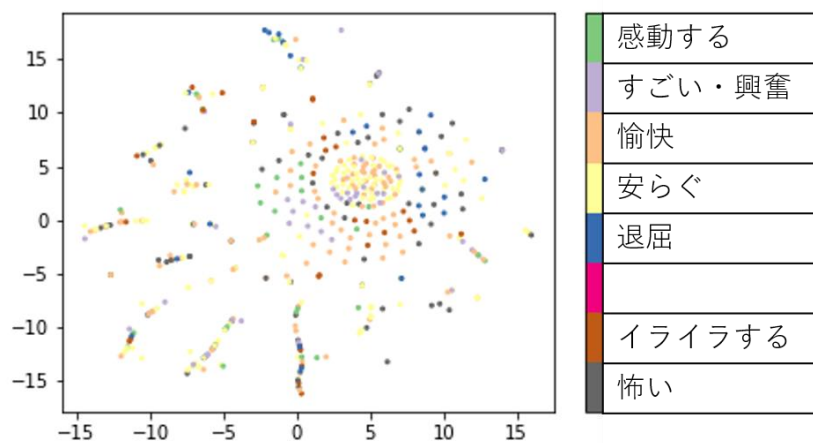


図 B-41 VAE による感情分類結果（被験者 48）

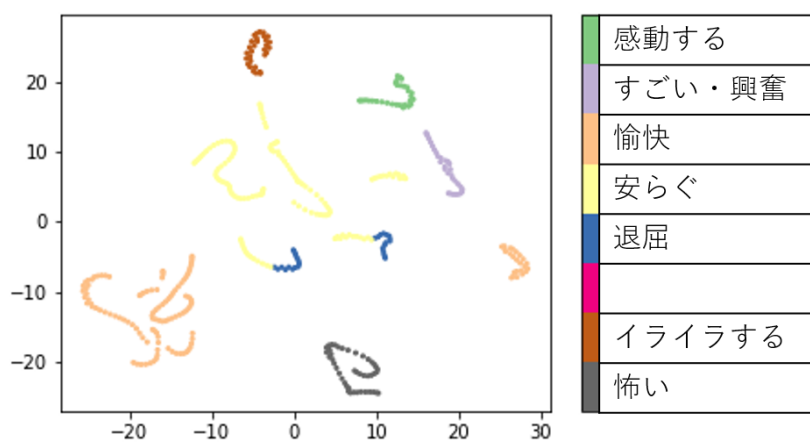


図 B-42 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 48）

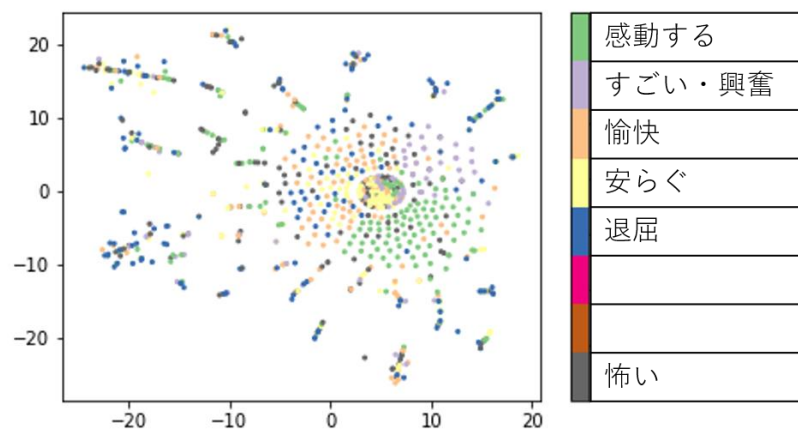


図 B-43 VAE による感情分類結果（被験者 50）

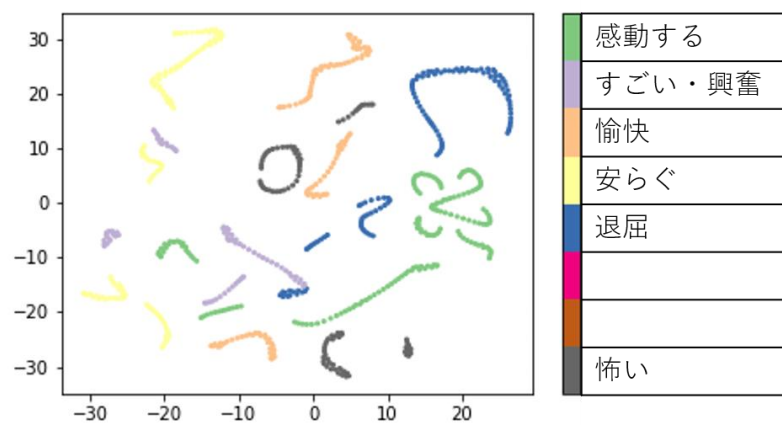


図 B-44 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 50）

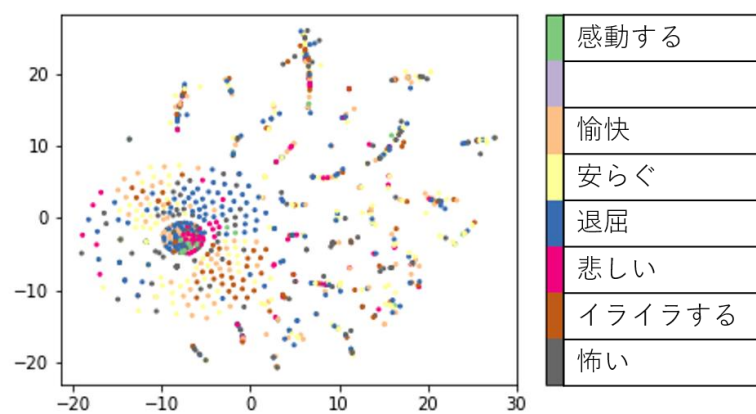


図 B-45 VAE による感情分類結果（被験者 51）

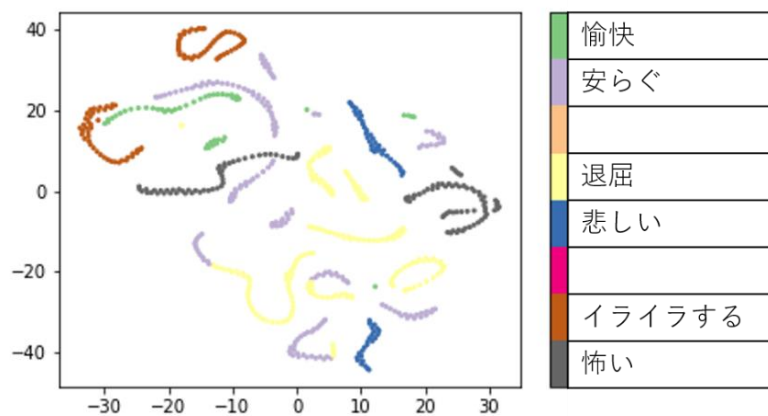


図 B-46 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 51）

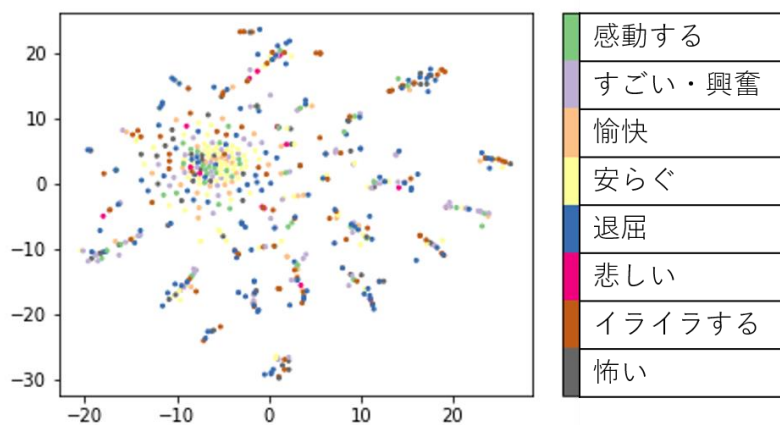


図 B-47 VAE による感情分類結果（被験者 52）

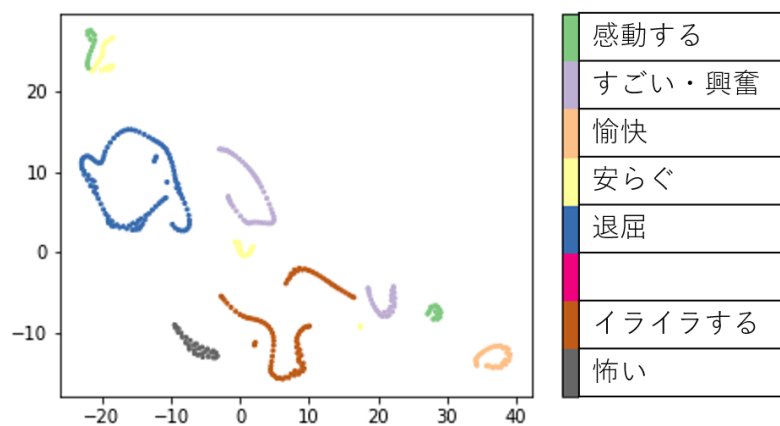


図 B-48 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 52）

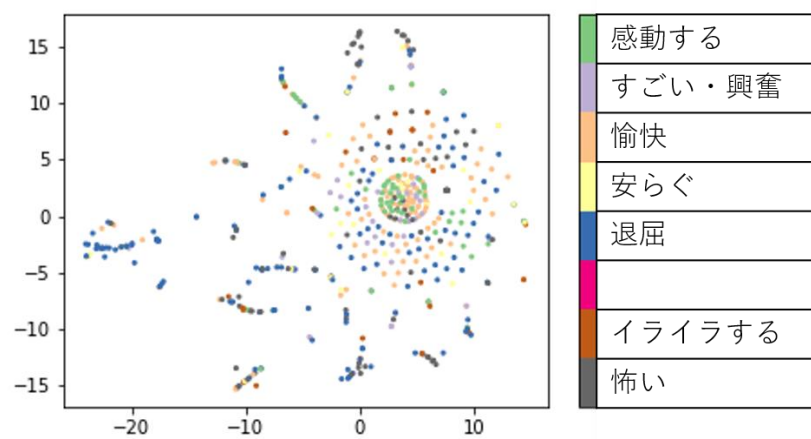


図 B-49 VAE による感情分類結果（被験者 57）

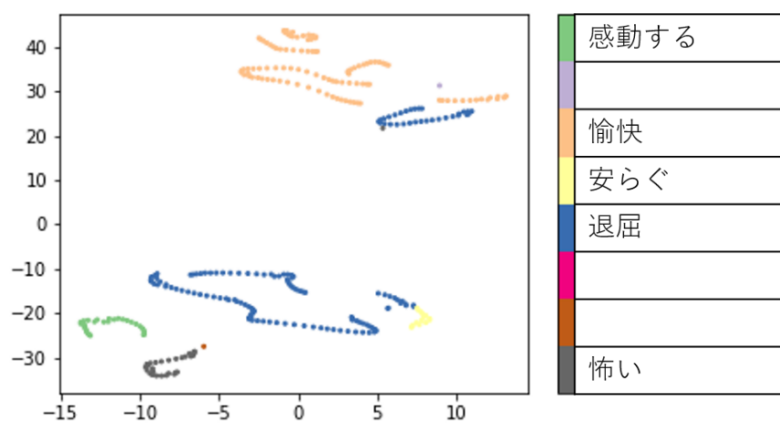


図 B-50 LSTM VAE による感情分類結果（被験者 57）

付録 C SRC による複数映像視聴者間における解析

表 C-1 SRC による条件(a)のデータセット(A)を用いた全被験者の感情推定結果

被験者	正解率	怖い	イライラする	悲しい	退屈	安らぐ	愉快	すごい・興奮	感動する
4	0.154	NaN	NaN	NaN		0.051	0.296	0.140	0.067
12	0.176	NaN	0.013	NaN	0.152	0.227	0.297	0.069	0.016
13	0.199		NaN			0.263	0.312	0.174	NaN
17	0.287	0.150		NaN		0.175	0.573	0.047	
18	0.179	0.019		0.056	0.161	0.136	0.341	0.123	0.115
19	0.219	0.089			NaN	0.152	0.358	0.027	0.079
21	0.181	0.022	0.011	0.037	0.160	0.199	0.338	0.119	0.055
23	0.338	0.533		0.022		0.156	0.479	0.132	0.018
25	0.175	0.037	NaN	NaN	0.020	0.346	0.127	0.048	0.077
27	0.261	0.034			0.202	NaN	0.334	0.398	0.075
29	0.258	0.134	NaN	NaN	0.033	0.448	0.311	0.070	0.073
30	0.326	0.476	0.098	NaN		0.479	0.312	0.188	0.018
31	0.152	0.025		NaN	0.235	0.328	0.077	NaN	
33	0.098	NaN		NaN	0.014	0.158	0.152	0.075	NaN
35	0.201	0.068	0.024		0.141	0.115	0.455		
36	0.258	0.169	0.071			0.288	0.492	0.086	
37	0.216	0.143		0.059		0.258	0.372	0.042	
38	0.332	0.471	0.104		NaN	0.459	0.357	0.103	0.073
39	0.200	0.137	0.045	NaN	0.016	0.246	0.401	NaN	0.132
40	0.208	0.017	0.073	0.067	0.028	0.257	0.428	NaN	0.182
42	0.195			0.041	0.023	0.175	0.433	0.036	0.087
47	0.158	0.136	NaN	NaN	0.175	0.208	0.246	0.146	NaN
48	0.265	0.500	NaN		0.063	0.256	0.400	NaN	NaN
50	0.141	0.032			0.113	0.241	0.224	0.011	0.011
51	0.089	0.072	NaN	NaN	NaN	0.108	0.233		NaN
52	0.152	NaN	NaN	NaN	0.135	0.183	0.280	0.030	0.265
57	0.189	0.061	NaN		NaN	0.061	0.454	0.059	0.181
平均	0.208	0.133	0.026	0.016	0.084	0.221	0.336	0.085	0.069

表 C-2 SRC による条件(a)のデータセット(イ)を用いた全被験者の感情推定結果

被験者	正解率	怖い	イライラする	悲しい	退屈	安らぐ	愉快	すごい・興奮	感動する
4	0.173	0.042	0.179	0.155		0.247	0.280	0.051	0.120
12	0.256	0.538	0.094	0.053	0.286	0.163	0.389	0.127	0.148
13	0.154		0.045			0.246	0.231	0.133	0.071
17	0.364	0.493		0.043	0.365	0.550	0.214		
18	0.180	0.230		0.031	0.195	0.151	0.273	0.129	0.171
19	0.213	0.140			0.101	0.323	0.299	0.165	0.038
21	0.216	0.199	0.073	0.055	0.289	0.226	0.330	0.155	0.182
23	0.336	0.640		0.028		0.222	0.411	0.127	0.103
25	0.217	0.283	0.111	0.090	0.133	0.331	0.277	0.049	0.035
27	0.232	0.192			0.175	0.047	0.386	0.167	0.290
29	0.236	0.452	0.032	0.071	0.053	0.362	0.260	0.148	0.153
30	0.311	0.492	0.123			0.420	0.464	0.203	0.053
31	0.222	0.522				0.382	0.096	0.121	
33	0.184	0.103		0.020	0.275	0.186	0.252	0.066	0.115
35	0.283	0.676	0.110		0.110	0.251	0.332		
36	0.340	0.617	0.088			0.368	0.463	0.145	0.115
37	0.216	0.146		0.031		0.198	0.408	0.103	
38	0.357	0.754	0.177		0.069	0.391	0.396	0.133	0.143
39	0.247	0.533	0.020	0.027	0.122	0.302	0.251	0.105	0.185
40	0.269	0.794	0.045	0.069	0.182	0.218	0.225	0.120	0.201
42	0.176			0.053	0.239	0.208	0.286	0.048	0.073
47	0.226	0.354	0.078	0.019	0.275	0.232	0.283	0.130	0.049
48	0.356	0.768			0.118	0.343	0.393	0.056	0.167
50	0.266	0.642			0.179	0.222	0.301	0.107	0.205
51	0.193	0.448	0.041	0.037	0.052	0.298	0.186		NaN
52	0.193	0.448	0.041	0.037	0.052	0.298	0.186		
57	0.170	0.288	0.113		0.031	0.109	0.367	0.071	0.109
平均	0.244	0.432	0.086	0.051	0.165	0.270	0.305	0.116	0.124

表 C-3 SRC による条件(a)のデータセット(ウ)を用いた全被験者の感情推定結果

被験者	正解率	怖い	イライラする	悲しい	退屈	安らぐ	愉快	すごい・興奮	感動する
4	0.161	NaN	0.049	0.060		0.193	0.298	0.101	0.165
12	0.179	0.238	0.165	0.067	0.171	0.186	0.197	0.155	0.169
13	0.207		0.201			0.293	0.232	0.240	0.062
17	0.292	0.346		NaN		0.315	0.507	0.118	
18	0.188	0.095		0.076	0.243	0.225	0.260	0.101	0.142
19	0.243	NaN			0.063	0.322	0.342	0.076	0.155
21	0.173	0.089	0.106	0.077	0.198	0.182	0.282	0.085	0.183
23	0.281	0.449		0.130		0.249	0.391	0.172	0.121
25	0.226	0.308	0.183	0.102	0.101	0.305	0.256	0.122	0.092
27	0.179	0.158			0.123	0.054	0.286	0.161	0.261
29	0.226	0.272	NaN	0.096	0.081	0.352	0.228	0.133	0.203
30	0.268	0.455	0.207	NaN		0.320	0.283	0.240	0.071
31	0.220	0.538		0.085	0.075	0.335	0.115	0.164	
33	0.184	0.144		0.082	0.220	0.216	0.219	0.053	0.171
35	0.225	0.258	0.140		0.114	0.275	0.329		
36	0.291	0.500	0.034			0.357	0.330	0.127	0.132
37	0.182	0.190		0.090		0.169	0.306	0.216	
38	0.250	0.421	0.100		0.180	0.278	0.311	0.116	0.096
39	0.212	0.363	0.136	0.078	0.175	0.248	0.242	0.079	0.134
40	0.248	0.635	0.124	NaN	0.125	0.208	0.299	0.141	0.144
42	0.197			0.087	0.260	0.212	0.229	0.057	0.209
47	0.211	0.179	0.192	NaN	0.217	0.235	0.285	0.176	0.082
48	0.327	0.671	0.115	NaN	0.085	0.346	0.397	0.132	0.054
50	0.238	0.541			0.110	0.272	0.229	0.203	0.124
51	0.178	0.319	0.080	0.114	0.100	0.303	0.164		0.079
52	0.143	0.318	0.071	NaN	0.171	0.128	0.111	0.126	0.118
57	0.128	0.190	NaN		0.102	0.117	0.203	0.071	0.107
平均	0.217	0.307	0.112	0.064	0.146	0.248	0.271	0.135	0.140

表 C-4 SRC による条件(a)のデータセット(エ)を用いた全被験者の感情推定結果

被験者	正解率	怖い	イライラする	悲しい	退屈	安らぐ	愉快	すごい・興奮	感動する
4	0.177	NaN	NaN	NaN		0.074	0.320	0.188	0.052
12	0.181	NaN	NaN	NaN	0.165	0.200	0.340	0.038	0.025
13	0.207		NaN			0.286	0.280	0.237	NaN
17	0.316	0.053		NaN		0.340	0.554	0.098	
18	0.160	NaN		0.045	0.099	0.078	0.314	0.223	0.098
19	0.204	0.121			NaN	0.141	0.343	0.024	NaN
21	0.189	0.051	0.022	NaN	0.071	0.163	0.325	0.275	0.141
23	0.304	0.487		0.022		0.050	0.442	0.136	0.067
25	0.162	0.031	NaN	0.023	NaN	0.316	0.123	0.108	0.121
27	0.263	NaN			0.208	0.013	0.353	0.385	0.109
29	0.251	0.044	NaN	NaN	0.040	0.436	0.287	0.115	0.095
30	0.289	0.261	0.058	NaN		0.439	0.306	0.166	NaN
31	0.139	0.020		NaN	0.197	0.301	0.073	0.009	
33	0.120	NaN		NaN	0.005	0.267	0.163	0.088	NaN
35	0.229	0.063	NaN		0.221	0.206	0.435		
36	0.245	0.159	0.046			0.266	0.478	0.148	NaN
37	0.227	NaN		NaN		0.309	0.376	0.046	
38	0.303	0.251	0.059		NaN	0.449	0.391	NaN	0.034
39	0.161	0.065	0.036	0.033	0.014	0.077	0.377	NaN	0.021
40	0.166	0.088	0.018	0.128	0.062	0.225	0.297	0.031	0.145
42	0.182			0.049	0.054	0.160	0.414	0.020	0.047
47	0.198	0.133	0.016	NaN	0.298	0.181	0.310	0.124	NaN
48	0.299	0.519	NaN		0.158	0.252	0.382	0.432	NaN
50	0.136	0.010			0.147	0.239	0.197	0.022	0.030
51	0.078	0.068	NaN	NaN	0.018	0.044	0.241		NaN
52	0.160	NaN		NaN	0.118	0.205	0.367	NaN	0.270
57	0.232	0.096	NaN		NaN	0.106	0.494	0.167	0.214
平均	0.207	0.101	0.015	0.017	0.094	0.216	0.333	0.123	0.067

表 C-5 SRC による条件(b)のデータセット(ア)を用いた全被験者の感情推定結果

被験者	正解率	怖い	安らぐ	愉快	すごい・ 興奮
4	0.102			0.240	NaN
12	0.382	0.576		0.474	
13	0.184			0.131	0.384
17	0.500	0.250		0.800	
18	0.264	0.087		0.522	
19	0.407		0.114	0.571	
21	0.390	0.125		0.744	
23	0.550	0.456		0.949	
25	0.049	NaN	0.286		
27	0.406			0.243	0.717
29	0.316	0.125		0.222	0.552
30	0.626	0.275		0.929	
31	0.045	0.087			
33	0.012		0.023		
35	0.259	0.405		0.385	
36	0.696	0.721		0.859	
37	0.364	NaN		0.673	NaN
38	0.474	0.792		0.422	
39	0.129	0.389		0.068	
40	0.800	0.956		0.308	
42	0.333			0.500	
47	0.097	0.111	0.034	0.212	
48	0.205	0.696		0.065	
50	0.329	0.513		0.341	
51	0.056	0.105			
52	0.536	0.600		0.900	
57	0.164	NaN		0.621	
平均	0.321	0.346	0.114	0.486	0.330

表 C-6 SRC による条件(b)のデータセット(イ)を用いた全被験者の感情推定結果

被験者	正解率	怖い	安らぐ	愉快	すごい・ 興奮
4	0.352			0.633	NaN
12	0.451	0.582		0.605	
13	0.246			0.394	0.150
17	0.614	0.696		0.745	
18	0.319	0.271		0.503	
19	0.315		0.063	0.508	
21	0.424	0.385		0.650	
23	0.680	0.780		0.784	
25	0.204	0.256	0.377		
27	0.171			0.380	0.061
29	0.327	0.929		0.215	0.364
30	0.513	0.393		0.770	
31	0.318	0.483			
33	0.105		0.205		
35	0.411	0.758		0.414	
36	0.633	0.715		0.729	
37	0.273	0.095		0.477	NaN
38	0.457	0.769		0.425	
39	0.343	0.619		0.344	
40	0.843	0.983		0.308	
42	0.317			0.481	
47	0.442	0.523	0.056	0.610	
48	0.568	0.828		0.605	
50	0.354	0.595		0.178	
51	0.500	0.667			
52	0.571	0.848		0.286	
57	0.236	0.370		0.222	
平均	0.407	0.597	0.175	0.490	0.115

表 C-7 SRC による条件(b)のデータセット(ウ)を用いた全被験者の感情推定結果

被験者	正解率	怖い	安らぐ	愉快	すごい・ 興奮
4	0.352			0.578	0.263
12	0.150	0.076		0.333	
13	0.219			0.397	NaN
17	0.455	0.500		0.638	
18	0.181	0.185		0.315	
19	0.389		0.341	0.500	
21	0.279	0.235		0.503	
23	0.470	0.674		0.500	
25	0.262	0.400	0.320		
27	0.154			0.344	0.111
29	0.286	0.846		0.347	0.154
30	0.496	0.667		0.549	
31	0.568	0.725			
33	0.128		0.227		
35	0.329	0.306		0.519	
36	0.449	0.625		0.534	
37	0.242	0.286		0.405	0.205
38	0.370	0.591		0.431	
39	0.286	0.605		0.280	
40	0.571	0.750		0.348	
42	0.250			0.400	
47	0.363	0.361	0.162	0.545	
48	0.386	0.571		0.468	
50	0.317	0.474		0.302	
51	0.444	0.615			
52	0.250	0.522		0.133	
57	0.091	0.167		0.100	
平均	0.324	0.485	0.263	0.412	0.147

表 C-8 SRC による条件(b)のデータセット(エ)を用いた全被験者の感情推定結果

被験者	正解率	怖い	安らぐ	愉快	すごい・ 興奮
4	0.091			0.213	NaN
12	0.353	0.651		0.319	
13	0.132			0.020	0.389
17	0.636	0.250		0.929	
18	0.271	0.044		0.547	
19	0.407		0.162	0.551	
21	0.355	0.084		0.713	
23	0.630	0.575		0.962	
25	0.039	NaN	0.235		
27	0.411			0.303	0.715
29	0.357	NaN		0.222	0.604
30	0.548	0.204		0.879	
31	0.023	0.044			
33	0.012		0.023		
35	0.190	0.314		0.292	
36	0.665	0.816		0.726	
37	0.313	NaN		0.564	NaN
38	0.526	0.773		0.555	
39	0.129	0.343		0.103	
40	0.729	0.899		0.308	
42	0.217			0.356	
47	0.186	0.078	0.250	0.343	
48	0.523	0.966		0.462	
50	0.280	0.389		0.383	
51	0.042	0.080			
52	0.429	0.353		0.900	
57	0.127	0.167		0.133	
平均	0.319	0.335	0.168	0.469	0.342

謝辞

本研究を進めるにあたり，丁寧なご指導をしていただいた亀山渉教授，菅沼睦客人主任研究員に，心より感謝いたします．また，実験や研究に関して多くの助言をくださった同期の皆様及び後輩の皆様に感謝致します．

参考文献

- [1] 傅 櫻, 菅沼 睦, 亀山 渉, サイモン クリピングデル, “生体信号による映像視聴者の感情分類とアンケート回答との対応関係に関する考察,” , 電子情報通信学会, HCG シンポジウム, C-1-5, 2017 年 12 月.
- [2] 傅 櫻, 橋本 稜平, 田上 結衣, 菅沼 睦, 亀山 渉, サイモン クリピングデル, “アンケート回答と生体信号の対応関係を用いた k-NN による映像視聴者の情動推定に関する検討,” , 電子情報通信学会, 2018 年総合大会, H-2-1, 2018 年 3 月.
- [3] 田上 結衣, 菅沼 睦, 亀山 渉, サイモン クリピングデル, “生体信号と顔特徴点のスパースコーディングによる映像視聴時情動分類に関する一考察,” , 電子情報通信学会, HCG シンポジウム, C-1-4, 2017 年 12 月.
- [4] 田上 結衣, 菅沼 睦, 亀山 渉, サイモン クリピングデル, “生体信号と顔特徴点を用いた SRC による映像視聴者の情動推定,” , 信学技報, Vol.118, No.503, CQ2018-95, pp.19-24, 2019 年 3 月.
- [5] 持倉 有紀, 松村 美里, 菅沼 睦, 亀山 渉, “時系列を考慮した映像視聴者の生体情報による感情分類と推定,” , 電子情報通信学会, 2019 年総合大会, H-2-27, 2019 年 3 月.
- [6] E.H.Hess, " Attitude and pupil size", Scientific American, Vol.212, pp.46-54, Apr. 1965
- [7] 村井 真樹, 中山 実, 清水 康敬, “テレビ番組視聴時の瞳孔面積と画像内容への興味・印象との関連”, 映像情報メディア学会誌, Vol.52, pp.1748-1753, 1998 年 11 月
- [8] 飛松 省三, “脳波判読のポイント”, 2006 年 4 月 5 日, <https://www.med.kyushu-u.ac.jp/neurophy/point.pdf> (最終確認: 2021 年 1 月 3 日)
- [9] 上野 秀剛, 石田 響子, 松田 侑子, 福嶋 祥太, 中道 上, 大平 雅雄, 松本 健一, 岡田 保紀, “脳波を利用したソフトウェアユーザビリティの評価 - 異なるバージョン間における周波数成分の比較”, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.10, Issue 2, pp.233-242, 2008 年
- [10] M. Seeck, L. Koessler, T. Bast et al., “The standardized EEG electrode array of the IFCN,” Clinical Neurophysiology, Vol.128, No.10, pp.2070-2077, 2017.
- [11] 土川 奏, 岩倉 成志, 安藤 章, “心拍間隔指標を用いた長距離運転時のストレス計測実験と解析-AHS の需要予測にむけて-”, 土木学会土木計画学研究・講演集, Vol.26 CD-ROM, 2002 年 11 月
- [12] 宮原 正典, 青木 政樹, 滝口 哲也, 有木 康雄, “顔表情からの関心度推定に基づく映像コンテンツへのタギング,” 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.10, pp.3694-3702, Oct. 2018.
- [13] 加藤 敦士, 菅沼 睦, 亀山 渉, “対光反射モデルを利用した瞳孔径の対光反射補正方式の検討,” 信学技報, Vol.118, No.503, CQ2018-103, pp.61-66, 2019 年 3 月.

- [14] 持倉 有紀, 菅沼 睦, 亀山 渉, “Variational Autoencoder と LSTM Variational Autoencoder による生体情報を用いた映像視聴者の感情分類の比較,” 電子情報通信学会, HCG シンポジウム 2020, A-1-2, 2020 年 12 月.
- [15] Youtube, “『爆笑神回』陣内智則 「映画の予告」.mov HD”,
<https://www.youtube.com/watch?v=ye6Nacnkd4g> (最終確認: 2019 年 2 月 4 日)
- [16] Youtube, “QTube エンドレスシャンプー”,
<https://www.youtube.com/watch?v=9ksqwR-OaaU> (最終確認: 2019 年 2 月 4 日)
- [17] Youtube, “Coffer - Short horror film”,
https://www.youtube.com/watch?v=8_rB01TXWjI (最終確認: 2019 年 2 月 4 日)
- [18] Youtube, “Selfie from Hell”, <https://www.youtube.com/watch?v=EhAFyaObY6U>
(最終確認: 2019 年 2 月 4 日)
- [19] Youtube, “「どうぶつピース!!かわいい大図鑑」犬編 (19) ヤンチャ犬がお利口に! ? 激カワ! ビフォーアフター 他”, <https://www.youtube.com/watch?v=LSqS53IEwT0>
(最終確認: 2019 年 2 月 4 日)
- [20] Youtube, “「どうぶつピース!!かわいい大図鑑」猫編 (59) 今週の赤ちゃん (1) でんぐり返しマンチカン 他”, <https://www.youtube.com/watch?v=Ntnp2DubEBg> (最終確認: 2019 年 2 月 4 日)
- [21] Youtube, “【サッカー】～あきらめたらそこで試合終了ですよ 決死のゴール クリア集 【感動～鉄壁ディフェンス集】 ” 守備 ””,
<https://www.youtube.com/watch?v=Uv8kPggce54> (最終確認: 2019 年 2 月 4 日)
- [22] Youtube, “Splatoon 2 (IN 65,556 DOMINOES!)”,
<https://www.youtube.com/watch?v=094EVL0-Twk> (最終確認: 2019 年 2 月 4 日)
- [23] Youtube, “必見! 7 人の SAMURAI 超絶パフォーマンス!! / カップヌードル SAMURAI シリーズ 「7 SAMURAI」 CM”,
<https://www.youtube.com/watch?v=p2e2trXGuvQ> (最終確認: 2019 年 2 月 4 日)
- [24] Youtube, “世界中が泣いたタイの感動の CM3 本”,
<https://www.youtube.com/watch?v=ZpLk0Gzu8I8> (最終確認: 2019 年 2 月 4 日)
- [25] Youtube, “トヨタ ウェルキャブスペシャルムービー「親子に同じ質問をしてみた」篇ポルテ”, <https://www.youtube.com/watch?v=hjIgyALpFT0> (最終確認: 2019 年 2 月 4 日)
- [26] Youtube, “4k 癒し自然映像 絶景 初夏の白駒池 北八ヶ岳 標高 2,115m Japan Nature Healing Relaxation Movie Summer Yatsugatake”,
https://www.youtube.com/watch?v=_7nK-3vGT0E (最終確認: 2019 年 2 月 4 日)
- [27] J. Mairal, F. Bach, J. Ponce, G. Sapiro, “Online dictionary learning for sparse coding”, Proc. of 26th International Conference on Machine Learning, pp.689-696, Montreal, Canada, Jun. 2009.

- [28] J. Mairal, F. Bach, J. Ponce, G. Sapiro, “Online learning for matrix factorization and sparse coding,” *Journal of Machine Learning Research*, Vol.11, pp.19–60, 2010.
- [29] J.L.Andreassi, “Psychophysiology-human behavior and physiological response”, 5th ed. Mahwah, New Jersey, 2007.
- [30] Davis E. King, “Dlib-ml A Machine Learning Toolkit,” *Journal of Machine Learning Research* 10, pp.1755-1758, 2009.
- [31] Christos Sagonas, Stefanos Zafeiriou, “FACIAL POINT ANNOTATIONS,” <https://ibug.doc.ic.ac.uk/resources/facial-point-annotations/> (最終確認：2020 年 10 月 13 日)
- [32] 海老根 秀之, 中村 納, “顔部位の個人的差異を排除した顔表情の認識”, *電気学会論文誌 C*, 119 巻 4 号, p474-481, 1999.

研究業績

題目	発表年月	発表	連名者
時系列を考慮した映像視聴者の生体情報による感情分類と推定	2019 年 3 月	2019 年 電子情報通信学会 総合大会 H-2-27	松村美里, 菅沼睦, 亀山渉
Variational Autoencoder と LSTM Variational Autoencoder による生体情報を用いた映像視聴者の感情分類の比較	2020 年 12 月	2020 年 電子情報通信学会 HCG シンポジウム A-1-2	菅沼睦, 亀山渉
生体情報を用いた SRC 辞書中に含まれない映像視聴者の感情推定	2021 年 3 月 (予定)	2021 年 電子情報通信学会 総合大会	菅沼睦, 亀山渉